या. पेरेलमान

मनोरंजक भौतिकशास्त्र

1

मनोरंजक भौतिकशास्त्र

Я. И. Перельман

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Книга I

Издательство «Наука»

Москва СССР

या. पेरेलमान

मनोरंजक भौतिकशास्त्र

1

"मीर" प्रकाशन
मॉस्को

लोकवाङ्मय गृह प्रा. लि.
मुंबई

अनुवाद – वसंत सहस्रबुद्धे

на языке маратхи

अनुक्रमणिका

प्रकरण ५ वे

प्रकरण ६ वे

प्रकरण ९ वे

प्रकरण १ ले वेग आणि गती. गतीचे स्वरूप

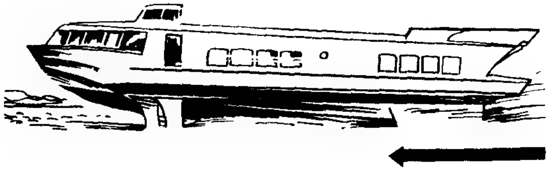
किती जलद ? किती वेगाने !

धावण्याच्या शर्यतीत एखादा चांगला खेळाडू १.५ कि. मी. चे अंतर सुमारे ३ मि. ५० से. त धावून जाईल. तुलना करावयाची झाल्यास, सर्वसाधारण माणसे १.५ मी. वेगाने चालतात. म्हणजेच, धावणारा खेळाडू दर सेकंदात ७ मी. अंतर पार करतो. अर्थात, हे काही तुलना करण्याएवढे खास वेग नाहीत. दर तासास ५ कि. मी. या वेगाने काही तास चालता येईल, पण धावणारा मात्र आपला उच्च वेग अगदी थोडया वेळेपुरताच टिकवील. भराभर चालणारी सैनिकांची तुकडी खेळाडूच्या वेगाच्या एक-तृतियांश किंवा सेकंदास २ मी. वेगाने जाते. म्हणजे तिचा वेग ताशी ७ कि. मी. पेक्षा थोडासा जास्त असतो.

मंद चालीसाठी प्राचीन कालापासून प्रसिद्ध असणाऱ्या गोगलगायीची किंवा कासवाची आणि आपली तुलना किती मनोरंजक ठरेल ? गोगलगाय आपल्या कीर्तीला साजेशाच वेगाने म्हणजे सेकंदास १.५ मि. मी. (ताशी ५.४ मी.) चालते. आपल्या चालण्याच्या वेगाच्या एक-हजारांश हा वेग असतो. कासव देखील मंद चालीसाठी प्रसिद्ध आहे. त्याचा सर्वसाधारण वेग ताशी ७० मी. असतो.

गोगलगायीच्या किंवा कासवाच्या तुलनेने आपण वेगवान ठरतो खरे, पण सभोवताली नित्य धावणारी वाहने मात्र आपणास केव्हाच मागे टाकतील. सपाट प्रदेशातून वाहणाऱ्या नदीशी किंवा झुळझुळत्या वाऱ्याशी आपली तुलना करता येईल, पण सभोवताली उडणाऱ्या साध्यासुध्या माशीचा वेग सेकंदास ५ मी. असतो हे लक्षात घ्यावयास हवे. अशा माशीशी स्पर्धा आपण निवळ बर्फावरून घसरण्याचे खेळामध्येच करू शकतो. एखाद्या सशाला किंवा शिकारी कुत्र्याला आपण मागे टाकणे शक्यच नाही, आणि गरुडाशी स्पर्धा करावयाची असेल, तर विमानातच बसावयास हवे.

पण मानवाने वेगवान वाहने शोधून काढल्यामुळे आज त्याची बरोबरी करणे अशक्य ठरले आहे. सोविएत संघातील जलपर्णी–प्रवासी–बोटीचा–



आ. १ वेगवान जलपर्णी बोट

हायड्रोफॉईलचा–वेग ताशी ६०–७० कि. मी. आहे. (आ. १). जमिनीवर आपला वेग याहीपेक्षा जास्तच आहे. ताशी २०० कि. मी. वेगाने धावणाऱ्या आगगाड्या किंवा मोटारी अस्तित्वात आल्या आहेत. (आ. २). सोविएत संघातील काही रेल्वेमार्गावर रेल्वेचा वेग ताशी १०० कि. मी. पर्यन्त पोहोचतो. जील–१११ ह्या नव्या मोटारगाडीचा वेग ताशी १७० कि. मी. मर्यादा गाठतो, तर सात लोकांची बसण्याची सोय असलेली "चाइका" ताशी १६० कि. मी. वेगाने धावते.

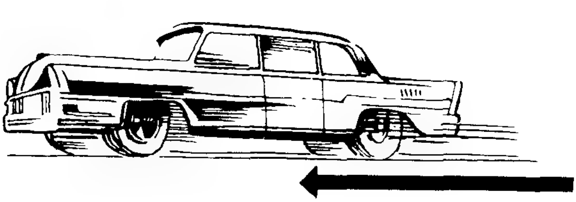
आधुनिक विमानांनी वेगाच्या बाबतीत आज कितीतरी पुढची मजल मारली आहे. हवाई वाहतूक करणाऱ्या टीयू–१०४, टीयू–११४ आणि टीयू–१४४ (आ. ३,) ह्या सोविएत प्रवासी विमानांचा सरासरी वेग ताशी ८०० कि. मी. आहे. अगदी अलिकडच्या काळापर्यंत विमान-रचनाकारांसमोर ध्वनिरोध पार करण्याची समस्या होती. ध्वनीपेक्षाही जास्त वेगाने म्हणजे सेकंदास ३३० मी. किंवा ताशी १२०० कि. मी. पेक्षा जास्त वेग गाठण्याचे आपले स्वप्न आता साकार झाले आहे. आज तर आपणाकडे छोट्या आकाराची परंतु शक्तिशाली प्रतिक्रिया (रिॲक्टिव्ह) गतियंत्रे असलेली वेगवान विमाने असून ताशी २००० कि. मी. वेगाची मर्यादा ती सहज गाठतात.

याहीपेक्षा जास्त गतीने जाणारी मानवनिर्मित वाहने आहेतच. कृत्रिम उपग्रह वातावरणाच्या दाट थराच्या सीमेनजीक सेकंदास ८ कि. मी. वेगाने पृथ्वीभोवती फेऱ्या मारीत आहेत. सूर्यमालेतील ग्रहांच्या दिशेने जाणारी याने पृथ्वीवरून सेकंदास ११.२ कि. मी. पेक्षाही जास्त वेगाने सोडली जातात.

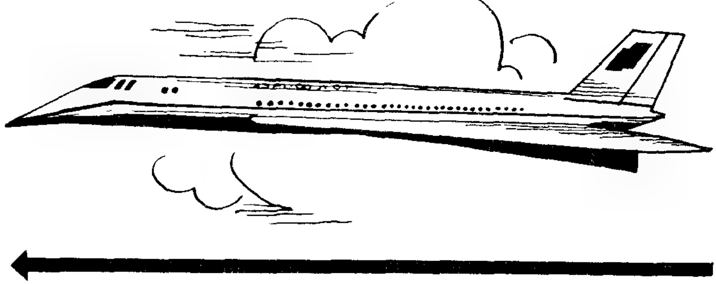
सोबतच्या कोष्टकावरून वाचकांना निरनिराळ्या वेगांची कल्पना येईल :

गोगलगाय	. . .	सेकंदास	१.५ मि. मी.	किंवा,	ताशी	५.४ मी.
कासव	. . .	"	२० मि. मी.	किंवा,	"	७० मी.
मासा	. . .	"	१ मी.	किंवा,	"	३.६ कि. मी.

पादचारी . . .	”	१.४ मी.	किंवा,	”	५ कि. मी.
घोडेस्वार . . . (नेहमीचे चालणे) .	”	१.७ मी.	किंवा,	”	६ कि. मी.
घोडेस्वार . . . (जलद चालणे)	”	३.५ मी.	किंवा,	”	१२.६ कि. मी.
माशी . . .	”	५ मी.	किंवा,	”	१८ कि. मी.
बर्फावरून घसरत जाणारा खेळाडू .	”	५ मी.	किंवा,	”	१८ कि. मी.
घोडेस्वार (धावणारा) .		८.५ मी.	किंवा,	”	३० कि. मी.
जलपर्णी जहाज (हायड्रोफॉईल) .	”	१६ मी.	किंवा,	”	५८ कि. मी.
ससा . . .	”	१८ मी.	किंवा,	”	६५ कि. मी.
गरूड पक्षी . . .	”	२४ मी.	किंवा,	”	८६ कि. मी.
शिकारी कुत्रा	”	२५ मी.	किंवा,	”	९० कि. मी.
आगगाडी	”	२८ मी.	किंवा,	”	१०० कि. मी.
मोटार “जील १११”	”	५० मो.	किंबा,	”	१७० कि. मी.
शर्यतीची मोटार उच्चांक . . .	”	१७४ मी.	किंवा,	”	६३३ कि. मी.
टीयू-१०४ जेट विमान	”	२२० मी.	किंबा,	”	८०० कि. मी.
ध्वनीचा हवेतील वेग . . .	”	३३० मी.	किंवा,	”	१२०० कि. मी.
छोटे रिॲक्टिव्ह विमान (जेट)	”	५५० मी.	किंवा,	”	२,००० कि. मी.
पृथ्वीची भ्रमणकक्षेतील गती . . .	”	३०,००० मी.	किंवा,	”	१८०,००० कि. मी.



आ. २ सोविएत झिल–१११ मोटार



आ. ३ तु–१४४ प्रवासी जेट विमान

काळाशी शर्यत

व्लदीवस्तोकहून सकाळी ८ वाजता विमानाने निघून त्याच दिवशी सकाळी ८ वाजताच मॉस्कोला पोहोचणे शक्य आहे का ?

हा प्रश्न अर्थहीन आहे असे समजू नका. हे खरोखरीच शक्य आहे. मॉस्को आणि व्लदीवस्तोक यांच्या स्थानिक वेळात (त्या त्या ठिकाणच्या वेळात) जो ९ तासांचा फरक आहे, त्यात वरील प्रश्नाचे उत्तर लपलेले आहे. जर आपल्या विमानाने या दोन शहरातील अंतर (सुमारे ९,००० कि. मी.) बरोबर ९ तासात पार केले, तर विमान व्लदीवस्तोककडून सुटलेल्या वेळीच मॉस्कोला उतरेल. विमानाचा, ९,०००÷९ म्हणजेच ताशी १,००० कि. मी. वेग असला पाहिजे आणि हा वेग आज सहज शक्य आहे.

सूर्याच्या बरोबरीने (अचूक बोलावयाचे झाल्यास पृथ्वीच्या बरोबरीने) धावण्यास ध्रुववर्ती अक्षांशावर कितीतरी कमी वेग पुरेसा आहे. ७७ अंश अक्षांशावर (नोव्या जिमल्या या भागावर) उडणाऱ्या विमानाचा वेग ताशी ४५० कि. मी असेल तर ठराविक कालात हे विमान इतके अंतर पार करू शकेल, जेवढे अंतर याच काळात पृथ्वीवरील कोणताही बिंदू पृथ्वीच्या आपल्या अक्षाभोवतीच्या फेरीमुळे पार करतो. अशा विमानातून प्रवास करताना सूर्य एकाच जागी टांगल्याप्रमाणे स्थिर भासेल आणि मावळतीच्या दिशेने मार्गक्रमण करताना दिसणार नाही. अर्थात यासाठी विमानाची दिशा योग्य असावयास हवी.

पृथ्वीभोवती प्रदक्षिणा घालणाऱ्या चंद्रास त्याच्या कक्षेत मागे टाकणे तर फारच सोपे आहे. पृथ्वीला स्वतःभोवती फेरी मारण्यास जेवढा वेळ लागतो, त्याच्या २९ पट कमी वेळ चंद्रास पृथ्वीभोवती एक फेरी पूर्ण

करण्यास लागतो. (आपण येथे रेषात्मक गतीची तुलना करीत नसून या दोहोंच्या कोनीय गती विचारात घेत आहोत). साहजिकच, कोणतेही जहाज जर २५–३० कि. मी. वेगाने जात असेल, तर अगदी मर्यादित अक्षांशावरच ते चंद्राला शर्यतीत मागे टाकेल.

मार्क ट्वेन या लेखकाने आपल्या "**इनोसंट ॲब्रॉड**" या पुस्तकात वरील गोष्टीचा उल्लेख केला आहे. तो म्हणतो, "....अटलांटिक महासागरातून न्यूयॉर्क ते अजोर द्वीपे या प्रवासात उबदार, उन्हाळी असे उत्कृष्ट हवामान होते. रात्री तर ते अधिकच उत्साहवर्धक होते. प्रत्येक रात्री ठराविक वेळी व ठराविक ठिकाणीच पूर्णचंद्र दिसण्याचा चमत्कार पहावयास मिळाला. चंद्राची ही अशी "तऱ्हेवाईक" वागणूक प्रथम प्रथम उमगली नाही, पण नंतर हे ध्यानात आल्यावर मात्र उलगडा झाला की, आम्ही पूर्वेच्या दिशेने रेखांशावर ताशी २० मिनिटांच्या वेगाने मजल मारत होतो, म्हणजेच चंद्राच्या मागे पडणार नाही इतक्या वेगाने आम्ही जात होतो!"

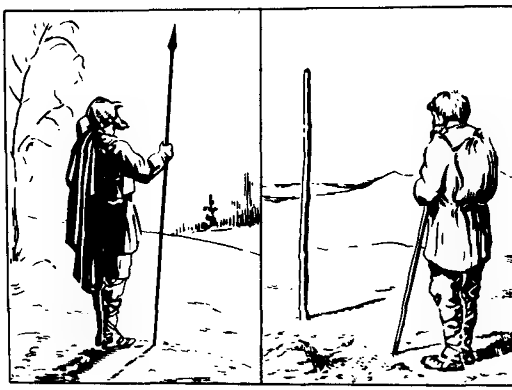
सेकंदाचा हजारावा भाग

सेकंदाचा एक-हजारावा भाग विचारात घेतला जावा एवढा काही आपला जीवनक्रम गतिमान नाही. एवढ्या कमी अवधीत काही कामे करण्याची गरज अलीकडेच उद्‌भवली आहे. प्राचीन काळी सूर्याच्या स्थितीवरून किंवा सावलीच्या लांबीवरून लोक वेळ ठरवत (आ. ४). त्यांच्या हिशोबी मिनिटास काहीच महत्त्व नव्हते. तेवढा वेळ मोजणे त्यांच्या दृष्टीने निरर्थक होते. त्यावेळचा एकंदर जीवनक्रम एवढा संथ होता की, कोणत्याच प्रकारच्या घड्याळांमध्ये (उदा. छाया-घड्याळ, पाण-घड्याळ, वालुकाघड्याळ, इ.) मिनिट निदर्शक भाग नव्हते. (आ. ५). मिनिटकाटा १८ व्या शतकाच्या सुरुवाती-सुरुवातीस अवतीर्ण झाला आणि सेकंदकाट्याने जन्म घेतल्याला १५० च वर्षे झाली आहेत.

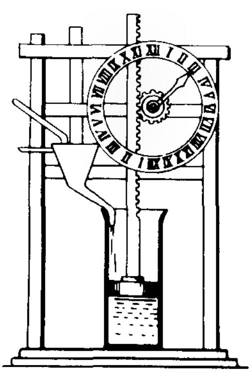
परत एकदा सेकंदाच्या हजाराव्या भागाकडे वळूया. आपल्या मते, एवढ्याशा वेळेत कोणकोणत्या घडामोडी शक्य आहेत? हे खरे की, नेहमीची आगगाडी या वेळेत फक्त ३ सें. मी. पुढे सरकेल, पण तेवढ्यात ध्वनी ३३ सें. मी. पार करतो आणि विमानाने १/२ मी. ची मजल मारलेली असेल. सूर्याभोवती फिरणारी पृथ्वी, एक-हजारांश सेकंदात ३३ मी. पुढे जाईल, तर प्रकाश मात्र ३००० कि. मी. अंतर पार करेल. आपल्या सभोवतालची सूक्ष्म जीवसृष्टी सेकंदाचा हजारांवा भाग म्हणजे क्षुल्लक बाब समजत नाही—अर्थात त्यांना विचार करता येत असेल तर! कीटकांच्या दृष्टीने हा चांगला प्रत्यक्ष जाणवणारा कालावधी असतो. डास एका सेकंदात

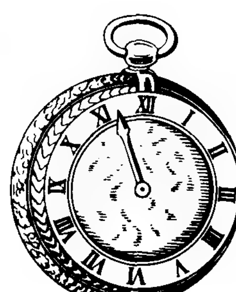
आपले पंख ५००-६०० वेळा खाली-वर करतो; म्हणजेच सेकंदाच्या हजारांव्या भागात तो पंख खाली किंवा वर करतो.

आपण आपले हातापायादी अवयव किटकाएवढ्या वेगाने हालवू शकत नाही, पण डोळ्याची पापणी मात्र आपणाला अतिवेगाने हलविता येते. ही



आ. ४ सूर्याच्या स्थितीनुसार वेळ जाणणे (डावीकडील) आणि छायेच्या लांबीनुसार वेळ जाणणे (उजवीकडील).





आ. ५ एक प्राचीन पाणघड्याळ (डावीकडील) आणि खिशातील घड्याळ (उजवीकडील) दोन्ही घड्याळांमध्ये मिनिट काटा नाही!

क्रिया एवढया जलद गतीने होते की, त्यामध्ये दिसावयाचे बंद होते याची आपणास जाणीवसुद्धा होत नाही. "पापणी लवते न लवते तोच. . . ." हा वाक्प्रचार प्रचलित होण्यास कारणीभूत ठरणारी ही क्रिया, हजारांश सेकंदात मोजली, तर चांगलीच मंदगतीची आहे असे दिसून येईल. काटेकोर मोजमापन असे दर्शविते की पापणीच्या उघडझापेच्या पूर्ण क्रियेस दोन-पंचमांश सेकंद अथवा सेकंदाच्या हजार भागातील ४०० भाग लागतात. ही क्रिया पुढील टप्प्यात विभागलेली असते. प्रथम पापणी पूर्णपणे खाली जाते व त्यास ७५/१००० ते ९०/१००० सेकंद लागतात. ही पापणी नंतर १३०-१७० हजारांश सेकंदाची विश्रांती घेते आणि ती परत वर उचलली जाण्यात सुमारे १७० हजारांश सेकंद लागतात.

यावरून लक्षात येईल की, पापणीच्या उघडझापेसाठी बऱ्यापैकी कालावधी लागतो आणि याच काळात ती विश्रांतीही घेते. या क्रियांची आपणास जर मंदगतीने छायाचित्रे घेता आली (म्हणजेच सेकंदाच्या हजार भागांपैकी काही भाग टिकणारी दृष्टिपटलावरील चित्रे जर टिपता आली) तर डोळ्याची उघडझाप ही एक अतिमंद गतीने चालणारी क्रिया भासेल. त्यामध्ये, दोन सावकाशपणे चालणाऱ्या हालचाली व त्या दोहोतील पापणीचा विश्रांतीकाल पाहावयास मिळेल.

सेकंदाच्या हजारांश भागात घडून येणाऱ्या घटना पाहण्याची अथवा जाणून घेण्याची क्षमता आपल्यात आली तर सभोवतालच्या जगाचे चित्र पार बदलून जाईल आणि नित्य परिचयाच्या घटना किंवा घडामोडी फार चमत्कारिक वाटतील. एच्. जी. वेल्स यांनी आपल्या "**अत्याधुनिक त्वरित्र**" या कथेत अशी वर्णने केली आहेत. या कथेचे नायक एक चमत्कारिक औषध पितात, ज्याचा परिणाम त्यांच्या मज्जासंस्थेवर असा होतो की त्यांना अल्पावधीत घडणाऱ्या हालचाली वेगवेगळ्या आणि स्थिर प्रवृत्तीच्या दिसू लागतात. हे पाहा त्यातले काही किस्से––

"या खिडकीचा पडदा अशा प्रकारे लावल्याचे पूर्वी कधी तू पाहिले आहेस का ?"

मी त्याचे डोळे जिकडे वळले होते तिकडे पाहिले. पडदा गोठल्याप्रमाणे कोपऱ्यापर्यंत वर गेलेला होता आणि वाऱ्याच्या झुळझुळीमुळे फडफडत होता.

"नाही बुवा," मी म्हटले. "फारच विचित्र आहे."

"अन् हे पहा", असे म्हणत त्याने हातात धरलेला काचेचा पेला

2-0867

सोडला. मी दचकलोच आणि पेला खाली पडून फुटणार असेच वाटले; पण तो आदळण्याऐवजी त्यातील पाण्याचे हिंदकळणेही दिसले नाही, तर तो हवेमध्येच (हालचालीशिवाय) स्थिर दिसत होता. "अंदाजे असे म्हणता येईल", गिबर्नी म्हणाला, "की या अक्षांशावर सेकंदाला सोळा फूट प्रवेगाने वस्तु खाली पडतात. हा पेलासुद्धा या वेगाने खाली पडत आहे. पण फक्त तुलाच दिसत आहे की सेकंदाच्या शंभराव्या भागात अजूनपर्यंत तरी तो पडत नसणारा आहे. यावरून तुला माझ्या प्रवेगकाच्या चालीची थोडीफार कल्पना येईल" असे म्हणून त्याने सावकाशपणे खाली पडणाऱ्या पेल्याभोवती खाली, वर, हात फिरविला.

अखेर त्याने पेल्याचा तळ पकडला आणि खाली ओढून काळजीपूर्वक टेबलावर ठेवला. "कसे काय वाटले?" त्याने मला विचारले आणि हसू लागला...

मी खिडकीबाहेर पाहिले. एक स्थिर असणारा सायकलस्वार डोके खाली करून एका बग्गीस मागे टाकण्याचा प्रयत्न करीत होता ...

आम्ही फाटकातून रस्त्यावर आलो आणि पुतळ्यासारखी स्थिर भासणारी रहदारी पाहू लागलो. ती बग्गी, चाबकाची उंचावलेली दोरी, कंडक्टरचा जबडा, अशा काही गोष्टींची जाणवण्याएवढी हालचाल दिसत होती. पण रखडत चालणारे सारे काही निश्चल वाटत होते. एका माणसाच्या घशातील घरघरीखेरीज सर्वत्र शांतता पसरली होती. या गोठलेल्या देखाव्यामध्ये एक ड्रायव्हर, कंडक्टर आणि अकरा प्रवासी यांचा समावेश होता...

त्यापैकी एक प्रवासी आपले वर्तमानपत्र उलगडण्याचा प्रयत्न करीत होता. वाऱ्याच्या झुळकीशी मुकाबला करणारे इतर चित्रविचित्र हावभाव करताना दिसत होते खरे पण आमच्या संवेदनदृष्टीने मात्र या झुळकीचे अस्तित्वच नव्हते...

माझ्या रक्तवाहिन्यांमध्ये ते विचित्र मिश्रण गेले असल्यामुळे हे सारे दिसत होते, घडत होते. वास्तविक हे सारेकाही पापणीच्या एका उघडझापेत घडणारे दृश्य होते...

आज शास्त्रज्ञ कालाचा केवढा अल्पसा भाग मोजू शकतात, हे जाणण्याची तुमची इच्छा आहे का? ऐका तर. या शतकाचे सुरुवातीस सेकंदाचा दहा-हजारांश भाग मोजता येत होता, तर आज ते सेकंदाचा दहा अब्जांशांवा भाग मोजू शकतात. तीन हजार वर्षांच्या कालावधीच्या तुलनेने एक सेकंद जेवढा लहान तेवढाच हा भाग लहान ठरतो.

मंद गतीचा छायाचित्रक

एच. जी. वेल्स यांनी जेव्हा आपली कथा लिहिली तेव्हा तसे काही खरोखरीच पाहावयास मिळेल याची त्यांनी कल्पनाही केली नसेल. पण तशी दृश्ये त्यांना आपल्या हयातीत पाहावयास मिळाली खरी. याचे श्रेय मंद गतीच्या छायाचित्रकास दिले पाहिजे. चित्रपटांसाठी वापरण्यात येणाऱ्या नेहमीच्या छायाचित्रकामार्फत सेकंदाला २४ चित्रे टिपली जातात, तर मंद गतीच्या छायाचित्रकाचा वेग यापेक्षा खूपच जास्त असतो. अशा प्रकारे तयार केलेली चित्रपट्टी पडद्यावर जेव्हा नेहमीच्याच वेगाने (म्हणजे सेकंदास २४ चित्रे याच वेगाने) दाखविली जाते, तेव्हा नेहमीच्या हालचाली अगदी मंद गतीने चालू असल्याचे पाहावयास मिळते. उदाहरणार्थ, खेळाडूची उंच उडी अगदी सावकाशपणे सुरू होऊन तेवढयाच मंद गतीने संपते. अगदी अद्ययावत मंदगती छायाचित्रक तर एच्. जी. वेल्स यांचे कल्पनारम्य जग हुबेहूब दाखवेल.

आपण सूर्याभोवती अधिक वेगानें केव्हा फिरतो ?

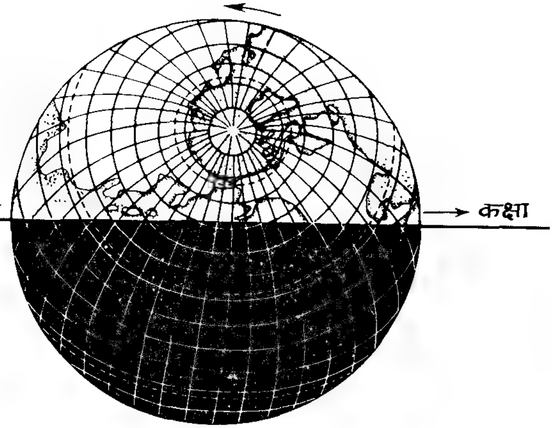
स्वस्त आणि सुखकारक प्रवासाची एक जाहिरात पॅरिसच्या वृत्तपत्रांमधून एकदा झळकली. या प्रवासाचे भाडे फक्त २५ सेंटीम्स होते. (१ सेंटीम म्हणजे एका फ्रेंच फ्रँकचा १०० वा भाग, १०० सेंटीम्स म्हणजे एक फ्रँक). अनेक भोळयाभाबडया वाचकांनी ती रक्कम पाठविली. त्या प्रत्येकास पुढील आशयाचे पत्र आले—

> "महाशय, कृपा करून आपल्या बिछान्यावर आरामात पडा आणि पृथ्वी सूर्याभोवती फिरत आहे हे ध्यानात घ्या. ४९ व्या अक्षांशापाशी जे पॅरिसचे आहे–तुम्ही दिवसास २५,००० कि. मी. पेक्षाही जास्त प्रवास करता. जर उत्कृष्ट देखावे पाहावयाचे असतील, तर खिडकीचा पडदा दूर सारून आकाशात लुकलुकणारा मोहक तारकापट पहा."

पुढे या पत्रलेखकास शोधून त्यावर फसवणुकीचा खटला भरला गेला. न्यायाधीशांचा निकाल ऐकून व झालेला दंड भरल्यानंतर गुन्हेगाराने नाटकी थाटात गॅलिलिओचे ते सुप्रसिद्ध उद्‌गार गंभीरपणे उच्चारले–

"खरोखरीच ती फिरत आहे !"

काही मर्यादेपर्यंत त्याचे बोलणे बरोबरच होते. कारण या पृथ्वीतलावरील प्रत्येक रहिवासी पृथ्वीच्या फिरण्यामुळे "प्रवास" करीत असतोच. पण तिच्या सूर्याभोवती फिरण्यामुळेही अधिकच वेगाने तो वाहून नेला जात असतो. स्वत:भोवती सर्व रहिवाशांसह गिरकी घेताना ही पृथ्वी अवकाशातून प्रत्येक सेकंदास ३० कि मि. या वेगाने मार्ग आक्रमीत आहे.



आ. ६ सूर्याभोवती फिरताना, पृथ्वीचा काळोखी भाग, उजेडात असणाऱ्या भागापेक्षा अधिक वेगाने फिरतो.

यामुळेच एक असा कुतुहलजनक प्रश्न उभा राहतो की आपण सूर्याभोवती अधिक वेगाने केव्हा फिरतो? दिवसा की रात्री ?

काहीसा गोंधळात टाकणारा हा प्रश्न आहे. कारण पृथ्वीच्या एका बाजूला दिवस व दुसऱ्या बाजूस रात्र हा प्रकार नित्याचाच आहे. म्हणून हा प्रश्न अर्थशून्य आहे असे समजू नका. या प्रश्नामागील हेतू हा की आपण पृथ्वीवरील रहिवासी अवकाशात वेगाने केव्हा भ्रमण करतो? खुद्द पृथ्वी नव्हे.

सूर्यमालेत आपणास दोन गती आहेत. एक कक्षीय परिभ्रमणाची म्हणजे सूर्याभोवती फिरण्याची व दुसरी अक्षीय परिभ्रमणाची म्हणजेच पृथ्वीची स्वतःभोवती फिरण्याची. या दोन गतींचा एकत्रित परिणाम वेगवेगळा असून आपण प्रकाशित बाजूस आहोत की काळोख्या बाजूस, यावर हा वेगळेपणा अवलंबून आहे.

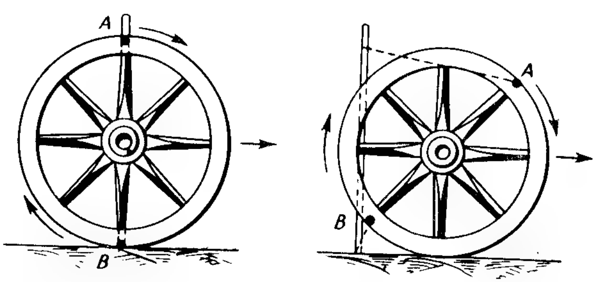
आकृती ६ वरून असे दिसून येईल की मध्यरात्री अक्षाभोवती फिरण्याची गती आणि सूर्याभोवती फिरण्याची गती एकाच दिशेने असल्यामुळे त्यांच्या बेरजेएवढी आपली गती होते, तर मध्यान्ही एका गतीची (पृथ्वीच्या) दुसऱ्या गतीतून वजावट होते. म्हणजेच सूर्यमालेत आपला मध्यरात्रीचा वेग

मध्यान्हापेक्षा जास्त असतो. विषुववृत्तावरील कोणताही बिंदु सुमारे अर्ध्या कि. मी. वेगाने जात असल्यामुळे, त्या ठिकाणच्या मध्यरात्र व मध्यान्ह वेळेच्या गतीमध्ये सेकंदास अगदी एक कि. मी. चा फरक पडतो.

वाहनाच्या चाकाचे कोडे

एखाद्या बैलगाडीच्या किंवा सायकलच्या चाकावर नीट दिसेल अशा बताने रंगीत कागदाचा तुकडा चिकटवा, आणि बैलगाडी किंवा सायकल फिरू लागल्यावर काय होते ते पहा. आपले निरीक्षण जर सूक्ष्म असेल तर लक्षात येईल की चाक फिरत असताना रंगीत कागदाचा तुकडा जेव्हा जमिनीनजिक असतो तेव्हा सुस्पष्ट दिसतो पण तो वर गेल्यावर एवढ्या झटकन समोरून जातो की पाहणे अशक्य व्हावे.

याचा अर्थ असा होत नाही का, की चाकाच्या वरच्या भागाची गती खालच्या भागापेक्षा अधिक असते? विशेषतः फिरत्या चाकाचे वरचे आणि खालचे आरे पाहताना असेच वाटते ना? वरचे आरे एकमेकात मिसळून जातात तर खालचे एकएक वेगवेगळे पहावयास मिळतात. **धावत्या चाकाच्या वरच्या भागाचा वेग नेहमी खालच्या भागापेक्षा खरोखरीच जास्त** असतो. यावर एकदम विश्वास बसणार नाही आणि त्यामागचे कारण तर अतिशय साधे आहे. हे वरवर पाहता पटणारही नाही. फिरत्या चाकावरच्या प्रत्येक बिंदूस एकाच वेळी दोन गती असतात– एक आसाभोवतालची (अक्षीय परिभ्रमण) आणि दुसरी आसासह पुढे जाणारी म्हणजे मार्गक्रमणाची. हा प्रकार अगदी पृथ्वीप्रमाणेच आहे. या दोन गतींचा एकत्रित परिणाम घडतो



आ. ७ फिरत्या चाकावरील (उजवीकडील) A आणि B बिंदूच्या काठीपासून दूर असणाऱ्या अंतरांची तुलना केल्यास असे दिसते की चाकाचा वरचा भाग, खालच्या भागापेक्षा अधिक वेगाने हलणारा असतो.

खरा, पण चाकाच्या वरच्या व खालच्या बाजूस तो भिन्न स्वरूपाचा असतो. चाकाच्या वरच्या बाजूस अक्षीय परिभ्रमणाची गती, मार्गक्रमणाच्या गतीत मिळविली जाते, कारण दोन्ही गती एकाच दिशेने असतात. खालच्या बाजूस अक्षीय परिभ्रमण उलट्या दिशेने होत असल्यामुळे ते पुढील दिशेने होत असलेल्या गतीतून वजा करणे जरूर असते. म्हणूनच, एकाच जागी उभे राहून पाहणाऱ्यास चाकाचा वरचा भाग खालच्या भागापेक्षा जास्त गतीने फिरत असल्याचे दिसते.

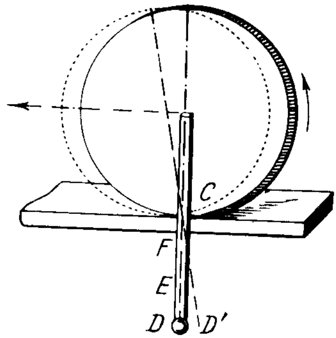
एका साध्या प्रयोगाने हा मुद्दा अधिक चांगल्या प्रकारे स्पष्ट होईल. जमिनीत एक काठी पक्की करा आणि काठीच्या अगदी समोर आस येईल अशा प्रकारे चाक उभे करा. नंतर खडूने काठीनजिकच्या अगदी वरच्या व खालच्या बिंदूपाशी चाकावर खुणा करा. आता चाक थोडेसे उजवीकडे ढकला, इतके की आस काठीपासून २५–३० सें. मी. पुढे जाईल (आकृती ७). चाकावरील खडूच्या खुणांची कशी हालचाल झाली आहे ते पहा. आपणाला असे आढळून येईल की वरची खूण (A) ही खालच्या खुणेपेक्षा (B) पुष्कळच पुढे गेली असून (B) खूण जवळजवळ पूर्वीच्याच ठिकाणी आहे.

चाकाचा अती मंद भाग

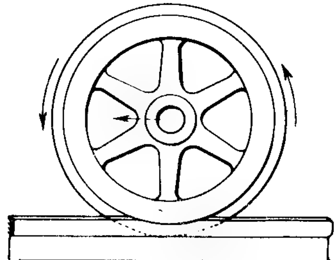
आता आपल्या ध्यानात आलेच असेल की, धावत्या चाकाच्या सर्वच भागांची गती एकच नसते. मग कोणता भाग सर्वांत मंद गतीचा असावा? जो जमिनीला टेकलेला असतो तो. अगदी काटेकोरपणे सांगावयाचे झाल्यास, जमिनीला स्पर्श होण्याचे वेळी, हा भाग निर्विवादपणे निश्चल असतो. मात्र हे विधान धावत्या चाकाच्या संदर्भात आहे. आसाभोवतीच फिरणाऱ्या चाकाच्या बाबतीत ही वस्तुस्थिती नसते. उदाहरणार्थ, जडचक्राचे सर्व भाग सारख्याच वेगाने फिरतात.

मेंदूला ताण

हा पहा आणखी एक असाच मजेशीर प्रश्न. लेनिनग्रादहून मॉस्कोला जाणाऱ्या आगगाडीवर (जर आगगाडीचा मार्ग ध्यानात घेतला) तर विरुद्ध दिशेने (म्हणजेच मॉस्को - लेनिनग्राद) धावणारे काही बिंदु असतील काय? तसे आहेत हे आपण दाखवू शकतो. गाडीच्या सर्व चाकांवर प्रत्येक क्षणी हे बिंदू असतात आणि ते चाकाच्या बाहेरच्या बाजूने जी पुढे आलेली कड अथवा बाजू असते, त्याच्या तळाशी असतात. हे कसे घडते हे जाणून घेण्यासाठी एक सोपा प्रयोग आपणाला करता येईल. एका नाण्यास आगपेटीची

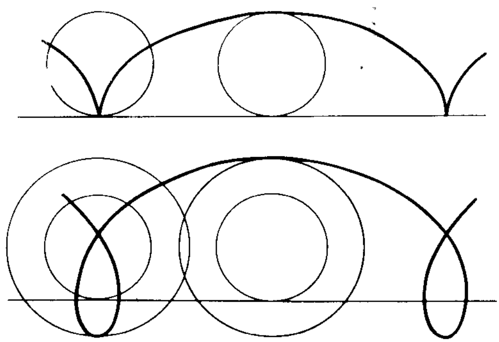


आ. ८ जेव्हा नाणे डावीकडे जाते तेव्हा काडीच्या पुढे आलेल्या भागावरील **F, E** व **D** हे बिंदू पाठीमागे हलतात.



आ. ९ जेव्हा आगगाडीचे चाक डावीकडे हलते तेव्हा त्याच्या कडेची खालची बाजू विरुद्ध दिशेने जाते.

काडी अशा प्रकारे चिकटवा की काडीचा काही भाग नाण्याच्या त्रिज्ये-प्रमाणे पुढे येईल (आ. ८ पहा). आता आ. ८ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे एका पट्टीच्या कडेवर नाणे उभे करा व ज्या **C** बिंदूपाशी ते स्पर्श करते तेथे अंगठ्याखाली दाबून धरा. हे उभे नाणे उजवीकडून डावीकडे थोडेसे फिरवा. तुमच्या ध्यानात येईल की, **F, E** आणि **D** हे नाण्याबाहेरील बिंदु पुढे सरकत नाहीत तर ते या उलट मागेच हटतात. **D** हा बिंदु (काडीचे टोक)



आ. १० वरील : बैलगाडीच्या फिरत्या चाकाच्या लोखंडी पट्टीवरील प्रत्येक बिंदूने रेखाटलेला वक्र (चक्रज)
खालील : आगगाडीच्या चाकाच्या कडेवरील प्रत्येक बिंदूने रेखाटलेला वक्र,

नाण्याच्या कडेपासून जेवढा दूर असेल तितक्या स्पष्टपणे तो दूर जाताना दिसेल (D बिंदू D' पाशी जातो).

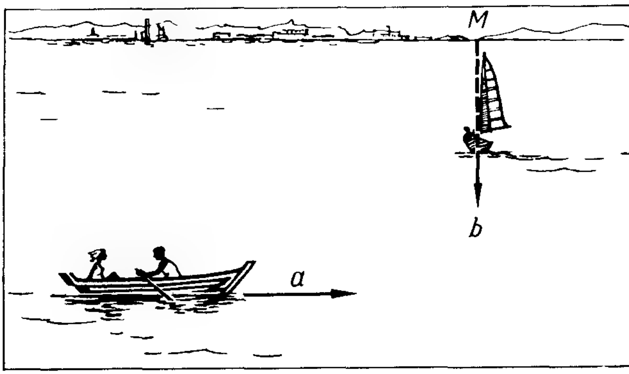
आगगाडीच्या चाकावरील (परिघावरील) बिंदु याप्रमाणेच सरकतात. आता जर मी आपणास सांगिले की आगगाडीवर **पुढे जाणारे नव्हे** तर **मागे जाणारे** बिंदु असतात तर आपणाला आश्चर्य असे वाटणार नाही. हे खरे की ही मागे जाणारी किंवा पश्चगती केवळ क्षणमात्र असते, पण असते मात्र नक्कीच. आकृती ९ व १० वरून हा प्रकार चांगला समजेल.

शिडाची नाव कुठून निघाली असेल ?

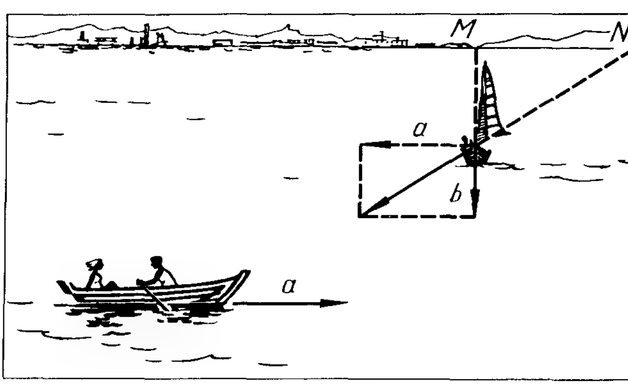
आकृती ११ मध्ये एक बिनशिडाची नाव तळे ओलांडताना दिसत आहे. तिचा वेग आणि दिशा आकृतीतील (A) या बाणाने दर्शविली आहे. याचवेळी दुसरी पण शिडाची नाव, बिनशिडाच्या नावेचा मार्ग ओलांडत आहे. (B) बाणाने या शिडाच्या नावेचा वेग व मार्ग दाखविला आहे. आता सांगा की शिडाची नाव कुठून निघाली असावी ? आपण अगदी साहजिकच M हा बिंदु दाखवाल. पण हाच प्रश्न जर आपण बिनशिडाच्या नावेतील व्यक्तीस विचाराल तर वेगळेच उत्तर आपणास मिळेल. असे का ?

बिनशिडाच्या नावेतील व्यक्तीस शिडाची नाव आपल्या मार्गाशी काट-कोनात येत आहे असे दिसत नाही. कारण ती स्वतः गतिमान आहे याचे

तिला भान नसते. ती स्वतःस स्थिर आणि इतर सारे गतिमान आहेत असेच समजते. या गतिमानतेत, खुद्द त्यांच्या त्यांच्या स्वतःच्याही गतीचा अंतर्भाव झालेला असतो. त्यांच्या दृष्टीकोनातून शिडाची नाव B बाणाच्या दिशेनेच जात नसून स्वतःच्या दिशेच्या विरुद्ध अशा A या तुटक रेषेच्या दिशेनेही जात असते.



आ. ११ शिडाच्या नावेचा मार्ग, होडीचा मार्ग ओलांडणारा आहे. a व b हे बाण त्यांच्या गती दर्शवितात. शिडाच्या नावेतील लोकांना काय भासेल ?



आ. १२ शिडाची नाव आपल्याकडे तिरक्या दिशेने –N या बिंदूकडून– येत आहे असेच होडीतल्या लोकांना वाटेल.

शिडाच्या नावेच्या या दोन गतींची– एक प्रत्यक्ष व दुसरी भासमान अशी– "समांतरभुज चौकोना"च्या नियमानुसार बेरीज होते. याचा परिणाम असा होतो की बिनशिडाच्या नावेतील लोकांना समांतरभुज चौकोनाचा **AB** हा जो कर्ण मिळतो त्या दिशेने शिडाची नाव सरकत आहे असे दिसते. म्हणून ते शिडाची नाव **M** बिंदूपासून निघालेली न समजता बिनशिडाच्या नावेसमोर दिसणाऱ्या **N** बिंदूपासून सुटली आहे असे समजतात.

पृथ्वीच्या कक्षीय परिभ्रमणाबरोबर आपणही तिच्याबरोबर फिरत असतोच आणि बिनशिडाच्या नावेतील लोकांप्रमाणेच आकाशातील ताऱ्यांची स्थाने चुकीच्या जागी दाखविली जातात. पृथ्वीच्या कक्षीय परिभ्रमणाच्या दिशेने पुढील बाजूस तारे स्थानभ्रष्ट झाल्याचे दिसून येते. अर्थात प्रकाशाच्या वेगाच्या मानाने पृथ्वीचा वेग फारच कमी (दहा हजार पट कमी) असल्यामुळे ही स्थानभ्रष्टता ऊर्फ प्रकाशीय विपथन फारच क्षुल्लक ठरते. तरीसुद्धा खगोलशास्त्रीय उपकरणांच्या साहाय्याने ते नक्की करता येते.

आपणाला हे नावेसंबंधीचे कोडे आवडले का? तर मग याच प्रश्नाशी संबंधित अशा आणखी दोन प्रश्नांची उत्तरे शोधा. प्रथम, शिडाच्या नावेतील लोकांना बिनशिडाची नाव कोणत्या दिशेने जात आहे असे वाटेल ते सांगा. दुसरा प्रश्न हा की, शिडाच्या नावेतील लोकांना बिनशिडाची नाव कोणत्या दिशेने जात आहे असे वाटते? या प्रश्नाची उत्तरे देण्यासाठी **A** बाणावर आपणास समांतरभुज चौकोन काढावा लागेल (आ.१२). शिडाच्या नावेतील लोकांच्या दृष्टीने, बिनशिडाची नाव तिरपी जात आहे की किनाऱ्याकडे जात आहे हे, या समांतरभुज चौकोनाचा कर्ण सूचित करील.

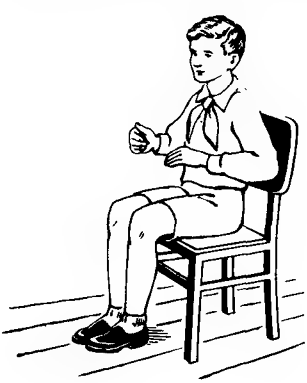
प्रकरण २ रे

गुरुत्व आणि वजन. तरफा. दाब.

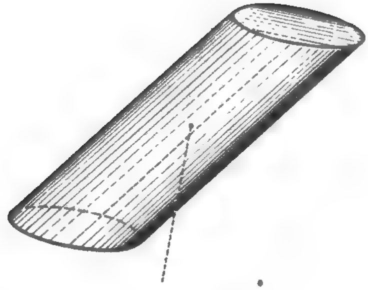
उठता येते का पाहा!

खुर्चीत बसले असता आपण उठूच शकणार नाही. असे जर मी म्हटले तर ती थट्टाच वाटेल. पण मी सांगतो त्या विशिष्ठ पद्धतीने बसलात तर खुर्चीतून उठणे आपणास खरोखरीच अशक्य आहे. आपणास कुणी दोरीने बांधून ठेवणार नाही. तर मग करून पहाच. आकृती १३ मध्ये मुलगा जसा बसला आहे त्याप्रमाणे खुर्चीत ताठ सरळ बसा आणि **पाय खुर्चीच्या मागे न सरकविता** पुढे काटकोनात ठेवा. आता पुढे न झुकता व पाय न हलविता उठण्याचा प्रयत्न करा पाहू. कितीही प्रयत्न केलात तरी ते शक्य होणार नाही. जोपर्यंत पाय खुर्चीच्या आत सरकत नाहीत किंवा पुढे झुकत नाहीत तोपर्यंत खुर्चीतून मुळीच उठता येणार नाही.

या गोष्टीचा खुलासा करण्यापूर्वी, सर्वसाधारण वस्तूंच्या समतोलाबद्दल (संतुलनाबद्दल) आणि विशेषतः माणसांबद्दल, मला दोन शब्द सांगू द्या. कोणत्याही वस्तूच्या गुरुत्वमध्यापासून काढलेला लंब जोपर्यंत वस्तूच्या पायाबाहेर जात नाही तोपर्यंत ती वस्तू कलंडणार नाही. आकृती १४ मध्ये दाखविलेला कलता दंडगोल नक्कीच पडणार. मात्र, त्याच्या गुरुत्वमध्यापासून काढलेला लंब



आ. १३ उठता येणे केवळ अशक्य आहे.

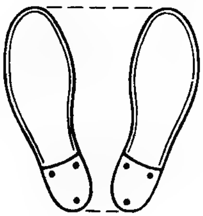


आ. १४ दंडगोल कलंडलाच पाहिजे. कारण, त्याच्या गुरुत्वमध्यापासून निघणारा लंब त्याच्या पायाच्या बाहेर पडणारा आहे.





आ. १५ डावीकडील : पिसा येथील कलता मनोरा.
उजवीकडील : अर्खांगेल्स येथील कलते शिखर. एका जुन्या छायाचित्राच्या आधारे.



आ. १६ जेव्हा आपण उभे राहतो, तेव्हा गुरुत्वमध्यापासून निघणारा लंब, पायांच्या तळव्यांनी व्यापलेल्या क्षेत्रफळातून जाणारा असतो.

पायातून जाणारा असेल तर हा दंडगोल कलंडणार नाही. इटलीतील पिसा येथील मनोरा, तसेच बोलोग्नातील मनोरा आणि आर्खंग्लेस्क (सोविएत संघ) येथील शिखर हे कललेले असूनही पडत नाहीत, ते याच कारणामुळे. त्यांच्या गुरुत्वमध्यापासून निघणारे लंब, पायाबाहेर पडत नाहीत. आणखी एक कारण असे की त्याचा पाया जमिनीत खूप खोलवर गेलेला आहे.

आपल्या गुरुत्वमध्यापासून निघणारा लंब, पायांनी व्यापलेल्या क्षेत्रफळाच्या (आ. १६) बाहेर जोपर्यंत जात नाही, तोपर्यंत आपण पडणार नाही. यामुळेच एका पायावर उभे राहणे अवघड असते आणि ताणलेल्या दोरावर तोल सांभाळणे फारच कठीण जाते. या दोन्ही बाबतीत "पाया" कमी क्षेत्रफळाचा असतो. गुरुत्वमध्यापासून निघणारा लंब त्याबाहेर पडणे अगदी सहज शक्य असते.

याविरुद्ध परिस्थितीचीही काही उदाहरणे देता यतील या उदाहरणांमध्ये तोल सांभाळण्याच्या क्रियेमुळे शरीराची डौलदार स्थिती पाहावयास मिळते. डोक्यावर ओझे वाहून नेणाऱ्या हमालाची उभे राहण्याची ढब आपण पाहिली असेलच. तसेच डोक्यावर घागर वाहून नेणाऱ्या स्त्रीचा आकर्षक पुतळाही आपल्या पाहण्यात आला असेल. हे लोक डोक्यावरून ओझे नेत असल्यामुळे त्यांना डोके व शरीर ताठ आणि सरळ ठेवावे लागते. ते जर इकडेतिकडे झुकले तर त्यांच्या गुरुत्वमध्यापासून (जो डोक्यावरील वजनामुळे नेहमीपेक्षा अधिकच उंचावर असतो) निघणारा लंब पायाबाहेर सरकेल आणि तोल सांभाळणे अवघड जाईल.

सुरुवातीच्या, खुर्चीवरून उठण्याचे संबंधित प्रश्नाकडे वळूया. खुर्चीत बसलेल्या मुलाचा गुरुत्वमध्य, त्याच्या शरीरातील पाठीच्या कण्याजवळ व बेंबीच्यावर सुमारे २० सें. मी. उंचीवर असतो. या बिंदूजवळ लंब टाका. तो खुर्चीतून मुलाच्या पायामागे पडेल. आपणाला माहीत झालेच आहे की खुर्चीतून उठावयाचे असेल तर हा लंब **पायांनी व्यापलेल्या जागेतूनच** गेला पाहिजे. म्हणूनच उठण्यासाठी पुढे झुकून गुरुत्वमध्याची जागा तरी सरक-

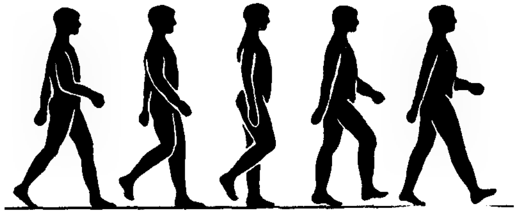
विली पाहिजे किंवा पाय आत सरकवून आपला पाया गुरुत्वमध्याखाली आणला पाहिजे. खुर्चीतून उठण्यासाठी हीच क्रिया आपण नेहमी करतो. जर तसे करू दिले नाही तर खुर्चीतून उठ येणे कदापिही शक्य होणार नाही. याचा अनुभव आपण घेतलाच आहे.

चालणे आणि धावणे.

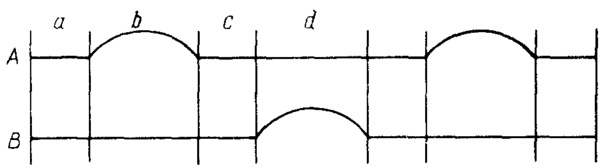
ज्या क्रिया आपण दिवसातून हजारो वेळाच नव्हे तर संपूर्ण आयुष्य-भर करतो, त्याची नेमकी व अचूक कल्पना आपणास असणारच, नाही? याचे उत्तर होकारार्थीच असणार. पण तसे नसते. उदाहरण म्हणून चालणे व धावणे या क्रिया लक्षात घ्या. त्यापेक्षा अधिक परिचित क्रिया कोणत्या असणार? तथापि आपण जेव्हा चालतो किंवा धावतो तेव्हा नेमके काय करतो याची फारच थोड्यांना कल्पना असावी. याबाबत शारिरशास्त्रज्ञ काय म्हणतात ते पाहूया. मला खात्री आहे की त्यांचे म्हणणे बहुतेक सान्यानांच अचंबा वाटण्याएवढे नाविन्यपूर्ण वाटेल. (प्रा. पॉल बर्ट यांच्या "**लेक्चर्स ऑन झूलॉजी**" या पुस्तकातून हा उतारा घेतला असून चित्रे माझी आहेत.)

"कल्पना करा की कोणी एक माणूस एका पायावर (उजव्या) उभा आहे. आणखी अशीही कल्पना करा की तो त्याची टाच उचलत असून त्याचवेळी पुढे झुकत आहे. (चालतांना किंवा धावतांना माणूस जमिनीवर दाब देतो, जमिनीपासून पाय पुढे उचलतांना शरीराच्या वजनाबरोबरच सुमारे २० कि. ग्रॅ. अधिक दाब देतो. म्हणजेच निव्वळ उभ्या स्थितीपेक्षा चालताना तो अधिक जोर किंवा दाब देतो– या. पेरेलमन). अशा परिस्थि-तीत, गुरुत्वमध्यापासूनचा लंब साहजिकच पायाबाहेर पडेल आणि परिणामतः माणूस नक्कीच पडेल. पण असे होते न होते तोच इतका वेळ उचललेल्या स्थितीत असणारा आपला डावा पाय चट्दिशी पुढे टाकला जातो. तो अशा प्रकारे जमिनीवर टाकला जातो की त्यायोगे गुरुत्वमध्यापासून निघ-णाऱ्या लंबाच्या पुढे पडेल. यामुळे दोन्ही पायांना ज्या बिंदूपाशी आधार मिळालेला असतो, त्यामधून जाणाऱ्या क्षेत्रफळात लंब आणला जातो. यामुळे तोल सावरला जातो. माणसाने एक पाऊल पुढे टाकलेले असते.

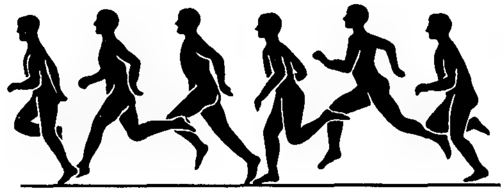
या काहीशा दमवणूक करणाऱ्या स्थितीत तो राहू शकतो, पण पुढे जाण्याची त्याची इच्छा असेल तर तो आणखी पुढे झुकेल. त्यायोगे गुरुत्वमध्यातून निघणारा लंब पायाच्या बाहेर सरकवेल आणि पडण्याच्या बेतात असतानाच परत पाय– यावेळी उजवा– पुढे टाकेल. याप्रमाणे त्याचे दुसरे पाऊल पडेल. हे असेच पुन्हःपुन्हा चालू राहील. थोडक्यात, चालणे म्हणजे **तोल बिघडविणे**



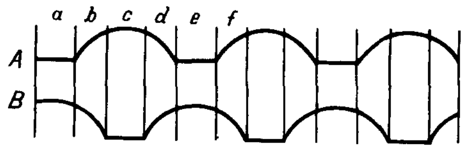
आ. १७ माणूस कसा चालतो. चालतेवेळी असणाऱ्या विविध स्थितींची मालिका.



आ. १८ चालताना माणसाची पावले कशी हालतात ते दाखविणारा आलेख. **A** हा डावा पाय असून **B** हा उजवा पाय आहे. आलेखातील सपाट आडवे भाग–पाय जेव्हा जमीनीवर असतो त्यावेळचे आहेत; वक्राकार भाग–जेव्हा पाय हवेत असतो त्यावेळचे **a** या मध्यंतर वेळेत दोन्ही पाय जमीनीवर असतात. **b** मध्यंतरात, **A** पाय हवेत आणि **B** पाय जमिनीवर असतो. **C** मध्यंतरात दोन्ही पाय परत जमिनीवर असतात. जेवढी चाल जलद तेवढा **a** व **c** हा मध्यंतराचा काल लहान. (आकृती २० मध्ये दाखविलेल्या धावण्याच्या आलेखाशी तुलना करा.).



आ. १९ माणूस कसा धावतो. धावतेवेळी होणाऱ्या स्थितींची मालिका, जेव्हा दोन्ही पाय हवेत असतात.



आ. २० धावताना एखाद्याचे पाय कसे हालतात ते दर्शविणारा आलेख. (आकृती १८ शी तुलना करा.) आलेखात, दोन्ही पाय हवेत असते वेळचे (**b**, **d** आणि **f**) हे मध्यंतर-काल आहेत. धावणे आणि चालणे यात हाच फरक आहे.

आणि त्याचा आधीच अंदाज घेऊन मागचा पाय आधार देण्याच्या स्थितीत आणणे याची मालिकाच म्हटली पाहिजे.

या गोष्टीच्या अगदी मुळाशी काय आहे ते पाहूया. कल्पना करा की पहिले पाऊल टाकून झालेले आहे. या विशिष्ट क्षणी, उजवा पाय जमिनीवरच तर डावा पाय जमिनीस केव्हाच टेकत आहे. जर पावलांची लांबी फार लहान नसेल तर उजवी टाच उचलली पाहिजे. कारण या उचलल्या जाणाऱ्या टाचेमुळे पुढे झुकणे आणि तोल घालविणे शक्य होते. जमिनीस प्रथम टेकणारी डाव्या पायाचीच टाच असते. त्यानंतर जेव्हा संपूर्ण पाय जमिनीस टेकतो तेव्हा उजवा पाय जमिनीस टेकलेला न राहता पूर्णपणे उचलला जातो. मध्यंतरी, गुढघ्यात किंचित वाकलेला पाय, मांडीतील चतुःशिरा स्नायूंच्या आखडण्यामुळे एकदम सरळ होतो. यामुळे वाकलेल्या उजव्या पायास जमि-

नीस न टेकता एकदम पुढे जाणे शक्य होते. शरीराच्या हालचालीनुसार, उजव्या पायाची टाच, पुढचे पाऊल टाकण्यासाठी योग्य वेळी जमिनीस टेकण्यासाठी येते. यावेळी डाव्या पायाची फक्त बोटेच जमिनीस टेकलेली असून तो उचलण्याच्या बेतात असतो. मग हा पायही वरीलप्रमाणेच हालचालींच्या सर्व टप्प्यातून जातो.

धावण्यात चालण्यापेक्षा जो वेगळेपणा आहे तो हा की त्यामध्ये जमिनीस टेकलेला पाय, स्नायूंच्या आखडण्यामुळे मोठ्या जोमाने सरळ होऊन शरीर पुढे झुकवितो. त्यामुळे **शरीर जमिनीपासून क्षणकाल पूर्णतया हवेत उचलले जाते.** मग ते परत दुसऱ्या पायावर स्थिर होण्यासाठी खाली येते. पण ते हवेत असतांनाच हा पाय चट्दिशी पुढे पडतो. धावण्यात याप्रमाणे एका पायावरून दुसऱ्या पायावर मारल्या जाणाऱ्या **उडयांची** मालिका असते.

क्षितिज–पातळीत असलेल्या रस्त्यावरून चालताना माणसाची शक्ती अथवा ऊर्जा खर्च होत नाही हा गैरसमज आहे. प्रत्येक पावलागणिक त्या माणसाचा गुरुत्वमध्य काही सें. मी. वर उचलला जातो. याबाबत मोजमाप असे दर्शविते की अशा रस्त्यावरून चालताना होणारे कार्य, शरीर तितक्याच अंतराएवढया उंचीवर नेण्यासाठी होणाऱ्या कार्याच्या सुमारे एक-पंधरांश भरते.

धावत्या मोटारींतून कशी उडी माराल?

पुष्कळजण असेच म्हणतील की जडत्वाच्या नियमानुसार गाडी ज्या दिशेने पुढे जात असते, त्याच दिशेने म्हणजे पुढे उडी मारली पाहिजे. पण या ठिकाणी जडत्वाचा काही संबंध आहे का? ज्या व्यक्तीस आपण हा प्रश्न विचाराल ती नक्कीच पेचात सापडेल याची खात्री आहे. कारण जडत्वानुसार, माणसाने मागील बाजूस म्हणजे मोटार जात असणाऱ्या दिशेच्या विरुद्ध बाजूस उडी मारावयास हवी. खरे पाहता या ठिकाणी जडत्व दुय्यम दर्जाचे ठरते. पुढे उडी घेण्याच्या संबंधात जडत्वाचा विचार करण्याची मुळीच आवश्यकता नाही. मात्र, पुढे उडी मारण्याबाबतच्या खऱ्या कारणाकडे दुर्लक्ष केले, तर मग असेच वाटू लागेल की पुढे उडी न घेता खरोखरीच मागे उडी मारली पाहिजे.

समजा, आपणाला चालत्या गाडीतून उडी टाकावयाची आहे. काय घडेल? जेव्हा उडी घेता तेव्हा आपल्या शरीरास मोटारीएवढीच गती जडत्वानुसार मिळते आणि आपण पुढे जाऊ लागतो. पुढे उडी घेण्यामुळे ही गती कमी न करता आपण याउलट प्रत्यक्षात ती वाढवितो. मग आपण **मागेच** उडी घेतली पाहिजे, नाही का? कारण तसे केल्यास दिल्या गेलेल्या गतीची

शरीरास जडत्वामुळे मिळालेल्या गतीमधून **वजावट** होईल आणि जमिनीस शरीर स्पर्श करतेवेळी ते कोलमडण्याचा संभवही कमी राहील.

तरीपण, चालत्या गाडीतून उडी मारताना प्रत्येकजण गाडीच्या चालत्या दिशेनेच म्हणजे पुढे उडी घेतो. हा केव्हाही उत्तम मार्ग असून दीर्घकाळ मान्यता मिळालेला आहे. म्हणूनच मागे उडी घेण्याचा चुकीचा प्रयोग करू नका असा सक्त इशारा द्यावासा वाटतो.

ही दोन अगदी विसंगत मते आपणास पहावयास मिळत आहेत, नाही? आपण कशीही उडी घेतलीत तरी पडण्याचा धोका राहणारच, कारण पाय जमिनीस टेकून स्थिर झाले तरी वरचे शरीर गतिमान असतेच असते. पुढे उडी मारताना आपले शरीर ज्या गतीने जात असते ती गती, मागे मारल्या जाणाऱ्या उडीपेक्षा जास्तच असते, याचा उल्लेख आलाच आहे. तथापि, मागे उडी घेण्यापेक्षा पुढील दिशेने उडी घेणे केव्हाही **सुरक्षित** ठरते, कारण आपण यांत्रिकपणे स्वत:स थांबविण्यासाठी एक पाय पुढे टाकतो किंवा थोडेसे धावतोही. हे आपण **विचार न करताच** करतो, अगदी चालण्याप्रमाणे. अखेर, यंत्रशास्त्राच्या दृष्टीने चालणे म्हणजे दुसरेतिसरे काही नसून **शरीराचा पुढे पुढे तोल जाणे आणि तो सावरण्याकरता पाय पुढे टाकत राहणे,** या क्रियांची मालिकाच आहे. मागे **पडताना** पायांची अशी हालचाल होत नसल्यामुळे धोका जास्तच असतो. शिवाय, आपण पुढे जरी पडलो तरी हात टेकवून आदळण्याची तीव्रता कमी करता येतेच. मागे म्हणजे पाठीवर पडतांना हातांचा असा फायदा मिळत नाही.

आपल्या पाहण्यात आहेच की पुढे उडी मारणे खूपच सुरक्षित असते, पण ते जडत्वामुळे नसून आपल्यामुळेच आहे. पण जर आपल्याबरोबर उडी मारतेवेळी ओझे असेल तर त्यास हा नियम अजिबात लागू नाही. मागे फेकलेल्या बाटलीपेक्षा पुढे फेकलेली बाटली फुटण्याचा अधिक संभव असतो. तेव्हा जर धावत्या गाडीतून उडी मारावयाची असेल आणि सोबत बोजाही असेल तर प्रथम बोजा **मागील दिशेने** फेका आणि आपण स्वत: **पुढच्या बाजूस** उडी घ्या. बसचे वाहक आणि तिकीट-तपासनीस उलट दिशेने उडी घेऊन **पाठीमागेच काही पावले टाकीत जातात पण तोंड मात्र बस चाललेल्या दिशेकडेच ठेवतात.** याचा त्यांना दुहेरी फायदा मिळतो. एक तर जडत्वामुळे मिळणारी गती कमी होते आणि पाठीवर पडण्याचा धोका पुष्कळसा टाळला जातो. कारण ते तोंड समोर ठेवून ज्या दिशेने पडण्याचा धोका अत्याधिक असतो त्याच दिशेने उडी घेतात.

बंदुकीची गोळी पकडू शकाल का ?

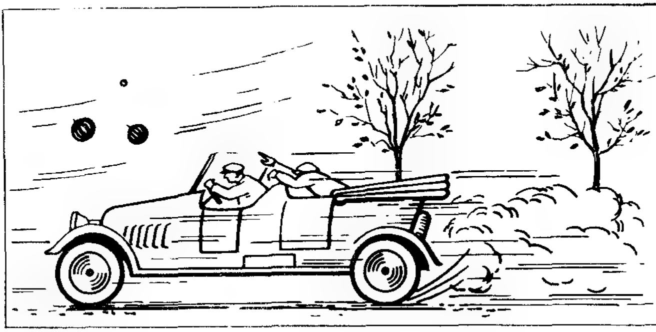
पुढे सांगितलेली एक विचित्र घटना पहिल्या महायुद्धाच्या काळात घडली. एक फ्रेंच वैमानिक २ कि. मी. उंचीवरून उड्डाण करीत होता. तेवढ्यात तोंडाजवळ काही उडत असल्याची त्यास जाणीव झाली. एखादी माशी असेल या समजुतीने त्याने ती वस्तू हातात पकडली. पण ती पाहिल्या-नंतर मात्र तो भीतीने सर्दच झाला. जर्मन बंदुकीतून झाडलेली ती प्रत्यक्ष गोळी होती! दंतकथांमधून प्रसिद्ध असलेल्या मुंचॉसेन नामक उमरावाने तोफेचे गोळे निव्वळ हातांनी झेलल्याचे सांगितले जाते. तसलाच काहीसा हा प्रकार झाला. वरील घटनेत खोटेपणाचा मात्र लवलेशही नव्हता.

बंदुकीच्या गोळीस सुटताना सेकंदास ८००-९०० मी. चा वेग मिळतो खरा. पण शेवटपर्यंत काही ती याच वेगाने जात नाही. हवेच्या प्रतिरोधा-मुळे अखेर अखेर हा वेग सेकंदास केवळ ४० मी. एवढा कमी होतो. विमानदेखील याच वेगाने उडत असल्यामुळे विमान व वैमानिकाच्या सापेक्ष गोळी स्थिर किंवा नाममात्र वेगाने जाणारी ठरते. अशावेळी ती हातांमध्ये सहजगत्या पकडता येते. हातात मोजे असल्यास उत्तमच, कारण वातावर-णाच्या घर्षणजन्य प्रतिरोधामुळे ती बरीच तापलेली असते.

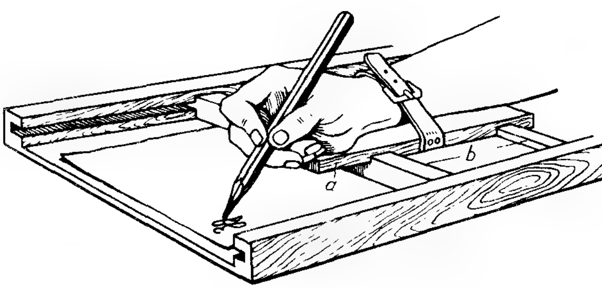
खरबूज, नव्हे बॉम्ब !

आपण पाहिलेच आहे की विशिष्ट परिस्थितीत बंदुकीच्या गोळीचा तडाखा नाहीसा होतो. पण अशीही उदाहरणे आहेत की अगदी सामान्य, निरुपद्रवी वस्तू सहजगत्या फेकल्यामुळे बरीचशी इजा पोहोचते. १९४२ मध्ये झालेल्या लेनिनग्राद-टिफ्लिस मोटार शर्यतीच्या वेळी, कॉकेशियन खेडु-तांनी हर्षभरित होऊन शर्यतकार व त्यांच्या मोटारींकडे खरबुजे, सफरचंद अशी फळे भिरकावली. पण या निरुपद्रवी भेटवस्तूंमुळे मोटारी चांगल्याच चेपल्या गेल्या, एवढेच नव्हे तर मोटार चालविणाऱ्यांना गंभीर दुखापती झाल्या. मोटारी व फळे एकमेकांविरुद्ध दिशांनी येणारी असल्यामुळे फळांच्या गतीत मोटारीची गती मिळविण्याकडे त्याचा परिणाम झाला व फळे जणू बंदुकीच्या धोकादायक गोळ्याच ठरल्या. १० ग्रॅम वजनाच्या बंदुकीच्या गोळीच्या गतीची जेवढी ऊर्जा असते, तेवढी ऊर्जा ४ कि. ग्रॅ. वजनाच्या खरबुजास ताशी १२० कि. मी. वेगाने जाणाऱ्या मोटारीकडे फेकल्यास प्राप्त होते. अर्थात गोळीच्या आघाताएवढे खरबुजाचे आदळणे नसते, कारण ते भुसभुशीत व मऊ असते.

आपली अतिवेगवान विमाने गोळीइतपत वेगाने म्हणजे ताशी सुमारे ३००० कि. मी. वेगाने जात असतात तेव्हा त्यांच्या वैमानिकांना आताच



आ. २१ वेगाने पळणाऱ्या मोटारीकडे खरबुजे फेकल्यास ती बॉम्बफेकीएवढीच धोकादायक ठरतील.



आ. २२ धावत्या आगगाडीत लिहिण्यासाठी तयार केलेले साधन.

सांगितलेला अनुभव येणे अगदी शक्य असते. या अतिवेगवान विमानांच्या वाटेत येणारी कोणतीही वस्तू त्यामध्ये घुसेल. अगदी हातातून अनाहुतपणे पडलेल्या गोळ्या एखाद्या मशीनगनमधून उडविलेल्या गोळ्यांएवढाच दुष्परिणाम घडवितील. दोन्ही बाबतीत गोळ्यांची सापेक्ष गती सारखीच असल्यामुळे विमान आणि गोळी यांची गाठ सेकंदास ८०० मी. वेगाने पडेल, म्हणून होणारे नुकसान सारख्याच तीव्रतेनचे असेल. पण पुढील विमानावर मागच्या विमानातून गोळ्या झाडल्या (गोळ्यांएवढ्याच वेगाने पुढचे विमान जात असेल) तर मात्र गोळ्या निरुपद्रवी ठरतील. हे आपण मागे पाहिलेच आहे.

१९३५ मध्ये बोर्शेव्ह नामक इंजिन-चालकाने दोन गाड्यांची टक्कर

कौशल्याने टाळली ती अशाच तत्त्वानुसार. दोन वस्तू जर एकाच दिशेने व सारख्याच गतीने पळत असल्या तर त्या एकमेकांवर न आदळता अलगद स्पर्श करतील, हे ते तत्त्व होय. बोर्शेव्ह त्यावेळी दक्षिण रशियातील येल्निकॉव व ओल्शान्का दरम्यान गाडी चालवीत होता. दुसरी एक गाडी याच रूळांवरून व त्याच दिशेने पळत होती. चढ फार असल्या-मुळे या गाडीच्या चालकास खूप प्रयत्न करूनही गाडी ओढणे जमत नव्हते. तेव्हा याने काही डब्यांसह इंजिन सुटे केले व ३६ डबे मागे ठेवून जव-ळच्या स्थानकाकडे प्रयाण केले. पण मागे राहिलेल्या डब्यांच्या चाकांची ब्रेकरचना कार्यान्वित करणे राहून गेले व ते पाठीमागे घसरू लागले. त्यांना चांगला १५ कि. मी. चा वेग प्राप्त झाला आणि पाठीमागून येणाऱ्या बोर्शे-व्हच्या गाडीवर आदळण्याचा धोका निर्माण झाला. सुदैवाने बोर्शेव्हला वरील तत्त्वाची आठवण झाली आणि त्याने लगेच योग्य ती खबरदारी घेतली. त्याने आपल्या गाडीस ब्रेक लावले, ती थांबवली व परत पाठीमागे नेण्यास सुरुवात केली. म्हणजेच हे डबे व बोर्शेव्हची गाडी एकाच दिशेने धावू लागले. आता प्रश्न राहिला वेगाचा. बोर्शेव्हने क्रमाक्रमाने मोठ्या प्रयत्नाने आपल्या गाडीचा वेग ताशी १५ कि. मी. म्हणजे त्या डब्यांएवढाच साधला आणि त्यायोगे स्वतःच्या इंजिनासमोर डबे न आदळता टेकविण्यात तो यशस्वी झाला. पुढे हळूहळू स्वतःचा वेग शून्यावर आणून त्याने आपली गाडी थांबविली व त्यामुळे डबेही आपोआप थांबले.

वरील तत्त्वाचाच वापर करून चालत्या गाडीत नेहमीप्रमाणेच सहज-गत्या लिहिण्यासाठी एक साधन तयार करता येते. रूळांच्या जोडांमुळे गाडीस सारखे धक्के बसत असतात आणि त्यामुळे लिहिणे अवघड होते. कागद आणि त्यावर चालणाऱ्या लेखणीस हे धक्के एकाचवेळी बसणारे नसतात म्हणून लिहिणे जमत नाही. धक्के या दोहोंना एकाच वेळी मिळावेत असा आपला हेतू आहे. त्यामुळे कागद व पेन एकमेकांच्या सापेक्ष गतिहीन होतील.

आकृती २२ मध्ये असे एक उपकरण दाखविलेले आहे. '**A**' या लहान पट्टीस उजवे मनगट, एका पट्ट्याच्या सहाय्याने पक्के केले असून ती पट्टी '**B**' या पाटास असणाऱ्या खाचेतून मागेपुढे सरकू शकते. डब्यातील टेबला-वर हे उपकरण ठेवता येते. लिहिण्यासाठी हातास जरूर तेवढा आधारही मिळू शकतो आणि प्रत्येक धक्का कागद आणि लेखणीस, किंबहुना लेखणी धरलेल्या हातास एकाच वेळी बसतो.

अशा रीतीने गाडीत घरी बसल्याप्रमाणे सुलभतेने लिहिता येते. खटक-

णारी एकच बाब म्हणजे मनगटास आणि डोक्यास धक्के एकाच वेळी बसत नसल्यामुळे लिखाण काहीसे नागमोडी होते.

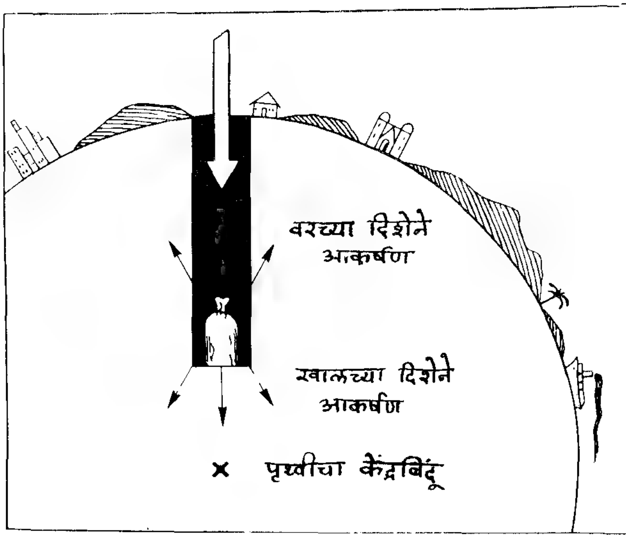
स्वतःचे अचूक वजन

आपले अचूक वजन जाणण्यासाठी वजनकाटयावर न हालता उभे राहणे आवश्यक आहे. ज्या क्षणी आपण वाकाल तेव्हा वजन कमी भरेल. असे का? आपण जेव्हा वाकतो तेव्हा संबंधित स्नायू शरीराच्या खालच्या भागासही वर ओढतात आणि अशाप्रकारे वजनकाटयावरील दाबही कमी होतो. या उलट, जेव्हा वाकणे थांबवितो तेव्हा स्नायू शरीराच्या खालच्या व वरच्या भागास एकमेकांपासून दूर ढकलतात. यावेळी वजनकाटा जास्त वजन दाखवेल. कारण शरीराचा खालचा अर्धा भाग वजनकाटयावर अधिक दाब देईल.

वजनकाटा जर अधिक संवेदनशील असेल तर केवळ हात उचलूनही वजनात फेरफार करता येईल. या हालचालीमुळे शरीराच्या दृश्य वजनात वाढ घडून येते. हात उचलणाऱ्या स्नायूंचा खांदा हा टेकू असतो. हात उचलण्याच्या क्रियेत स्नायू या टेकूस व पर्यायाने शरीरास खाली दाबतात आणि वजनकाटयावरील दाब वाढतो. हात वर करण्याची क्रिया थांबली तर विरुद्ध स्नायू वापरले जातात; ते खांदा वर ओढतात, परिणामी वजनकाटयावरील दाब म्हणजेच शरीराचे वजन कमी करतात. अशा रीतीने जेव्हा आपण हात खाली करतो, तेव्हा शरीराचे वजन कमी होते आणि हात खाली करणे थांबविले असता वाढते. थोडक्यात, स्नायूंचा वापर करून वजनात—म्हणजेच वजनकाटयावरील दाबात–वाढ किंवा घट करता येते.

वस्तू कुठे जास्त वजनदार भरतात ?

जसे जसे वर जावे तसे तसे पृथ्वीचे गुरुत्वाकर्षण कमी कमी होत जाते. पृथ्वीच्या मध्यबिंदूपासून त्रिज्येच्या दुप्पट (त्रिज्या : ६४०० कि. मी.) उंचीपाशी एक कि. ग्रॅ. वजन नेण्यात आले तर गुरुत्वाकर्षणाचा जोर $२^२ = ४$ पटीने कमी होईल. अशा वेळी ताणकाटा १००० ग्रॅमऐवजी फक्त २५० ग्रॅम वजन दाखवेल. सर्व बाह्य वस्तूंना पृथ्वी अशा रीतीने आकर्षित करत असते की जणू काही तिचे सर्व द्रव्यमान केंद्रस्थानी जमा होईल. हे आकर्षण अंतराच्या वर्गाच्या व्यस्त प्रमाणात कमी होत जाते. वरील उदाहरणात, पृथ्वीच्या मध्यबिंदूपासून दुप्पट अंतरावर १ कि. ग्रॅ. वजन नेले; तेव्हा गुरुत्वाकर्षण $२^२ = ४$ पटीने कमी झाले. जर पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासून वजन १२,८०० कि. मी. दूर– म्हणजेच पृथ्वीच्या त्रिज्येच्या तिप्पट अंतरावर—



आ. २३ जेवढे पृथ्वीच्या मध्यभागानजिक जावू, तेवढे गुरुत्वाकर्षणात्मक बल घटत जाते.

नेले तर आकर्षण $३^२ = ९$ पटीने कमी होईल आणि ताणकाटा १००० ग्रॅम-ऐवजी अवघ्या १११ ग्रॅम वजनाची नोंद करेल.

साहजिकच, यावरून असा निष्कर्ष काढला जाईल की वजन जसे जसे पृथ्वीच्या केंद्रभागाकडे येईल तसे तसे त्यामध्ये वाढ होत जाईल. कारण पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणात वाढ होत जाईल. परंतु, ही समजूत चुकीची आहे. वजन वाढणार तर नाहीच, पण ते कमी कमी होत जाईल. याचे कारण असे की, या प्रसंगी पृथ्वीचे आकर्षण केवळ एकाच दिशेने न राहता सर्व बाजूंनी होत राहील. आ. २३ मध्ये वजन एका विहिरीत दाखविलेले आहे. ते खालच्या दिशेने खेचले जात आहे आणि वरच्या दिशेनेही. पृथ्वीचा मध्य-बिंदू ते वस्तूपर्यंतच्या अंतराएवढी त्रिज्या असणाऱ्या गोलाकार भागाचे आकर्षणच काय ते महत्त्वाचे असते. याचा अर्थ, जेवढे आपण खोल जाऊ तेवढे वजन कमी भरेल. पृथ्वीच्या अगदी मध्यबिंदूपाशी तर काहीच वजन भरणार नाही, कारण येथे तर वस्तू सर्वच दिशांनी आकर्षित केली जाईल.

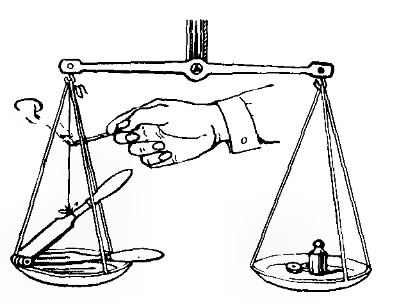
निष्कर्ष असा : पृथ्वीच्या पृष्ठभागी वस्तूचे वजन अत्याधिक असते. वस्तू पृष्ठभागापासून वर वर नेल्यास वजन कमी कमी होत जाते, किंवा

मध्यबिंदूजवळ नेत गेल्यास कमी होत जाते. प्रत्यक्षात, मध्यबिंदूच्या जेवढे जवळ, तेवढी घनता जास्त. म्हणूनच गुरुत्वाकर्षण काही खोलीपर्यंत वाढत जाते आणि नंतरच कमी कमी होत जाते.

पडणाऱ्या वस्तूचे वजन किती ?

विजेचा पाळणा ऊर्फ लिफ्ट जेव्हा खाली जाण्यास **सुरुवात** करते त्यावेळेची एक आगळीच अनुभूती जाणवली आहे काय ? यावेळी आपणास अगदी हलके हलके वाटू लागते. एखाद्या तळविरहित विवरात खाली पडता-नाही असेच वाटेल. याचे कारण म्हणजे **वजनविरहित** अवस्था. विजेचा पाळणा (त्याची जमीन) खाली जाण्यास सुरुवात होते त्यावेळी आपल्या शरीरास मात्र तेवढी गती मिळालेली नसते. आपल्या शरीरामार्फत कोणताच दाब पडत नाही, त्यामुळे त्याचे वजन अत्यंत **कमी** असते. काही क्षणांनी मात्र ही जाणीव नाहीशी होते. मग आपले शरीर सहजपणे जाणाऱ्या लिफ्टपेक्षा अधिक वेगाने जाऊ पाहते, ते लिफ्टच्या जमिनीवर दाब देते आणि पूर्ण वजन पुनरपी प्राप्त होते.

एका ताणकाट्यास वजनदार वस्तू बांधा आणि त्यासह ताणकाटा झट्कन खाली आणताना दर्शक काय वजन दाखवितो ते पहा. सोयीसाठी बुचाचा तुकडा, दर्शक खालीवर होणाऱ्या खाचेत बसवा व त्याची हालचाल पहा. दर्शक पूर्ण वजन दाखविणार नाही, ते बरेच कमी असेल ! जर ताण-काटा मोकळेपणे खाली पडत असेल आणि त्यावेळी जर आपणास दर्शकाचे निरीक्षण करता आले तर वजन जवळजवळ शून्य असल्याचे आढळेल.



आ. २४ पडणाऱ्या वस्तू वजनरहित असतात.

खाली पडताना अगदी वजनदार वस्तूचे सुद्धा सारे वजन नाहीसे होते. याचे कारण अगदी साधे आहे. वजन म्हणजे ज्याच्या सहाय्याने वस्तू आधारावर दाब देते किंवा जिच्याद्वारे ती आपल्याला पकडून ठेवणाऱ्या बिंदूस स्वतःकडे खेचते ते बल. **खाली पडणारी वस्तू** ताणकाट्यातील स्प्रिंग ओढू शकत नाही, कारण ती त्यासह खाली पडत असते. पडणारी वस्तू कशासही आपल्याकडे खेचू शकत नाही किंवा कशावरही दाब देऊ शकत नाही. म्हणूनच, खाली पडणाऱ्या वस्तूचे वजन किती हे विचारणे म्हणजे वजन नसणाऱ्या वस्तूचे वजन किती, असे विचारण्यासारखेच आहे.

यंत्रशास्त्राचे पितामह म्हणन ओळखले जाणाऱ्या गॅलिलिओ यांनी १७ व्या शतकात **"नवीन विज्ञानातील दोन क्षेत्रांसंबंधी गणितीय सिद्धांत"** हा ग्रंथ लिहिला. त्यात ते म्हणतात : "जेव्हा पाठीवरील वजन पडू नये म्हणून आपण प्रयत्न करतो तेव्हाच ते वजन आपणास जाणवते. पण वजन ज्या वेगाने खाली पडते त्याच वेगाने जर आपण त्यासह खाली आलो तर ते वजन दाब कसा निर्माण करणार व ओझे तरी कसे वाटेल ? आपल्या वेगानेच पुढे धावणाऱ्या माणसास हातातील भाल्याने (तो न सोडता) भोसकण्याच्या प्रयत्नाप्रमाणेच ते ठरेल."

पुढील एका सोप्या प्रयोगाने हा मुद्दा उत्तम प्रकारे स्पष्ट होईल. तराजूच्या एका पात्रात अडकित्ता ठेवा आणि त्याचा एक हात तराजूच्या दांडीस दोऱ्याने बांधा (आ. २४). आता दुसऱ्या पात्रात वजने टाकून अडकित्त्याचे अचूक वजन करा. मग दोऱ्यास आगकाडी लावा. दोरा जळून जाईल आणि अडकित्त्याचा टांगलेला हात खाली पडेल. या क्षणी अडकित्ता असणारे पात्र खाली जाईल की वर जाईल ? की समतोल राहील ? पण आता आपणाला ठाऊक झालेच आहे की पडत्या वस्तूचे वजन शून्य असते, तेव्हा अचूक उत्तर देण्यात अडचण भासू नये. पात्र क्षणभर **वर** जाईल, अडकित्त्याच्या खालच्या हातास वरचा हात जोडलेला असला तरीसुद्धा हेच घडेल कारण, पडताना हा वरचा हात पात्रावर अचल स्थितीतील दाबाच्या तुलनेने कमी दाब देतो. क्षणभर अडकित्त्याचे वजन कमी होते आणि तो ठेवलेले पात्र वर जाते.

पृथ्वी ते चंद्र

इ. स, १८६५-१८७० च्या दरम्यान फरान्समध्ये ज्यूल वेर्नने लिहिलेले **"पृथ्वीहून चंद्राकडे"** हे पुस्तक प्रसिद्ध झाले. आत असणाऱ्या माणसांसह एक प्रचंड गोळा चंद्राकडे फेकण्याची मोठी विलक्षण कल्पना या पुस्तकात त्याने रंगविली आहे. त्याची योजना एवढी विश्वसनीय वाटते की ज्यांनी ज्यांनी

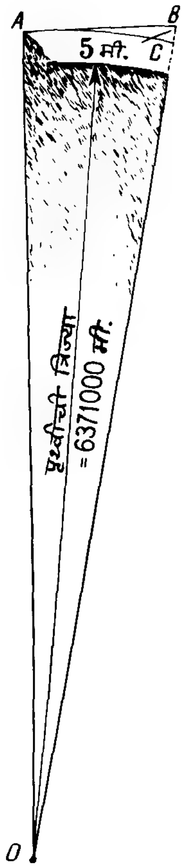
ते पुस्तक वाचले त्यांना ही योजना खरोखरीच अंमलात आणता येईल, अशी शक्यता वाटावी. ही योजना होती तरी कशी ? *

प्रथम अगदी सैद्धांतिक दृष्टिकोनातूनसुद्धा हे पाहूया की पृथ्वीवर परत कधीच न परतणारा गोळा तोफेतून धाडता येईल का ? सैद्धांतिक-दृष्ट्या हे शक्य आहे. तर मग क्षितिजाला समान्तर पातळीत झाडलेला गोळा अखेरीस पृथ्वीवरच का पडावा ? पृथ्वीच्या गुरुत्वाकर्षणामुळे त्याचा मार्ग सरळ न राहता वक्राकार बनतो व अखेर तो खाली पडतो. पृथ्वीचा पृष्ठभागही वक्राकार असला तरी गोळ्याचा मार्ग अधिक वक्राकार किंवा झुकलेला असतो. तथापि, पृथ्वीच्या वक्रतेस अगदी समांतर राहील असा वक्रता मार्ग जर गोळ्यास देता आला तर मग मात्र तो पृथ्वीवर परत कधीच पडणार नाही. अशा वेळी त्याचा मार्ग ऊर्फ कक्षा पृथ्वीच्या पृष्ठभागासह समकेंद्री राहील, तो पृथ्वीचा उपग्रह अथवा जणू काही छोटा चंद्र बनेल.

तर पृथ्वीच्या वक्रता मार्गापेक्षा कमी वक्रतामार्गाने गोळा जाईल हे आपणास कसे काय साधता येईल ? त्यासाठी सुरुवातीपासूनच गोळ्यास भरपूर वेग देता आला पाहिजे. आकृती २५ मध्ये दाखविलेला पृथ्वीचा छेद पहा. एका टेकडीवर **A** बिंदूपाशी तोफ उभी केली आहे (टेकडीची प्रत्यक्ष उंची दुर्लक्षित करूया). तोफेतून क्षितिजसमान्तर पातळीत उडविलेला गोळा, पृथ्वीचे गुरुत्वाकर्षण विचारात न घेतल्यास, सेकंदभरातच **B** बिन्दूपाशी पोहो-चेल. पण गुरुत्वाकर्षण विचारात घेतले तर तो **B** बिंदूपासून ५ मी. खाली असणाऱ्या **C** बिंदूपाशी पडेल. कोणतीही पडणारी वस्तू पृथ्वीच्या पृष्ठभागीय गुरुत्वाकर्षणामुळे पहिल्या सेकंदास ५ मी. अंतर कापते. पण गोळा ५ मी. खाली पडूनही **A** बिंदूएवढ्याच उंचीवर असेल, तर त्याचा अर्थ असा होतो की तो पृथ्वीच्या पृष्ठभागाप्रमाणेच समकेंद्री अशा मार्गाने किंवा कक्षेमधून जात आहे.

---

* कृत्रिम उपग्रह आणि अंतरिक्ष अग्निबाण धाडण्यात आल्यानंतर आज आपणास ठाऊक झाले आहे की, अवकाश प्रवासासाठी, तोफेतून सुटणारा गोळा न वापरता अग्निबाण वापरला जाईल. तथापि, प्राक्षेपिकी शास्त्राच्या नियमांनुसार, शेवटचे इंजिन **जळाल्यानंतरच अग्निबाणाचे** क्षेपण होते. तोफेचा गोळा आणि अग्निबाण यांच्या गतिसंबंधात एकच समान नियम आहे. म्हणून लेखकाचे विचार काही जुने नाहीत—संपादक.

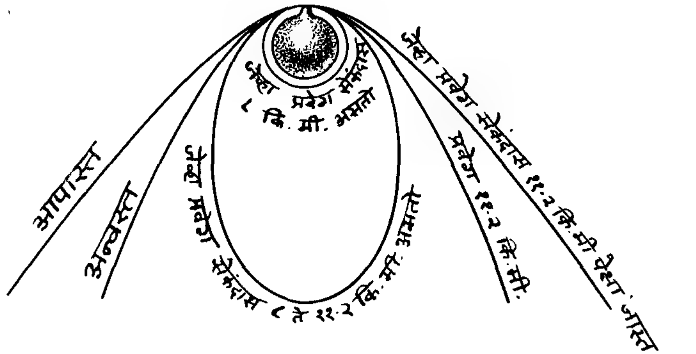


आ. २५ अग्नीबाणाचा मुक्तिवेग कसा काढावा.

तर मग केवळ AB (आ. २५) हे अंतर किती हे जाणून घेणेच काय ते बाकी राहिले. दुसऱ्या शब्दात असे म्हणता येईल की, एका सेकंदात क्षितिजसमांतर पातळीत गोळ्याने किती अंतर कापले हे शोधून काढणे व तीच त्याची गती होय. AOB या त्रिकोणात OA ही बाजू म्हणजे पृथ्वीची त्रिज्या (अंदाजे ६३७०,००० मी.) असून OC व BC = ५ मी. आहे. तेव्हा OB = ६३७०,००५ मी. ठरते. आता पायथॅगोरसच्या सिद्धांतानुसार $(AB)^२ = (६३७०,००५)^२ - (६३७०,०००)^२$

हे समीकरण सोडविल्यास असे आढळते की AB हे अंतर सुमारे ८ कि. मी. आहे.

तर मग गोळ्यास उडविताना, तोफेच्या तोंडाशी सेकंदास ८ कि. मी.



आ. २६ जेव्हा अग्नीबाण सेकंदास ८ कि. मी. आणि त्याहीपेक्षा जास्त वेगाने सोडला जातो.

ही प्रारंभ-गती दिली गेली, तर तो पृथ्वीवर **परत खाली कधीच पडणार नाही**; तो पृथ्वीचा कायमचा छोटा चंद्र बनेल.

असे समजा की यापेक्षाही जास्त अशा प्रारंभ-गतीने गोळा उडविला, तर मग तो कुठे जाईल? खगोलीय यामिकी जाणणाऱ्या शास्त्रज्ञांनी असे सिद्ध केले आहे की, सेकंदाला ८, ९ किंवा अगदी १० कि. मी. वेगाने सोडलेल्या गोळ्याचा मार्ग लंबवर्तुळाकार राहतो आणि प्रारंभ-गतीनुसार तो अधिकाधिक पसरट बनत जातो. जर प्रारंभ-गती सेकंदास ११.२ कि. मी. असेल तर गोळ्याचा मार्ग लंबवर्तुळाकार राहणार नाही, तर तो न मिळणाऱ्या लंबवर्तुळाचा म्हणजेच तो अन्वस्त ठरेल आणि गोळा पृथ्वीकडे कधीच न परतणाऱ्या मार्गाने दूर निघून जाईल (आ. २६). थोडक्यात, पुरेशी प्रारंभ-गती दिली गेल्यास गोळ्यात बसून **चंद्राकडे** जाणे सैद्धांतिकदृष्ट्या अगदी शक्य आहे. पण ही अशी समस्या आहे की, जीमध्ये अगदी भिन्न स्वरूपाचे प्रश्न उभे राहतात. अधिक विवेचनासाठी मी आपणास **"मनोरंजक भौतिकशास्त्र भाग २ रा"** हे माझे पुस्तक पाहण्यास सुचवितो.

चंद्राकडे उड्डाण : ज्यूल वेर्न विरुद्ध वास्तवता

ज्यांनी ज्यांनी **"पृथ्वीहून चंद्राकडे"** हे पुस्तक वाचले आहे, त्यांच्या ध्यानात एक मनोरंजक भाग नक्कीच राहिला असेल. ज्या मर्यादेपाशी **पृथ्वीचे**

आणि चंद्राचे आकर्षण एकमेकांएवढेच (म्हणजे समान) भरते, तेथे काय ,रिस्थिती उद्‌भवते याचे वर्णन त्या भागात आहे. मोठ्या आश्चर्यकारक आणि मजेदार घटना घडून येतात. गोळ्यातील सर्वच वस्तू वजनविरहित ठरतात; खुद्द प्रवासीमंडळी हवेत तरंगू लागतात.

पण यामध्ये काहीच चूक नाही. तथापि, ज्यूल वेर्नची गफलत किंवा जी गोष्ट त्याच्या लक्षात आली नाही ती ही की त्याने सांगितलेल्या मर्यादेपाशीच वजनविरहित अवस्था निर्माण होते असे नाही. वजनविरहित अवस्था या मर्यादेच्या अलीकडे व पलीकडेही निर्माण होते—अथवा मुक्त उड्डाण अस्तित्वात येताच ती प्राप्त होते.

सकृतदर्शनी हे अविश्वसनीय वाटते जरूर. पण मला खात्री आहे की, थोड्याच वेळात, एवढी साधी गफलत पूर्वीच आपल्या ध्यानात का आली नाही म्हणून आश्चर्य करण्याची आपल्यावर वेळ येणार आहे. ज्यूल वेर्नच्याच उदाहरणाकडे वळूया. गोळ्यातील अवकाश-प्रवाशांनी एक मृत कुत्रा कसा बाहेर टाकला आणि तो पृथ्वीवर न पडता गोळ्याच्याच मागोमाग येत आहे हे पाहून ते कसे स्तंभित झाले, याचे वर्णन आपण विसरला नसालच. ज्यूल वेर्नने याचे वर्णन व खुलासा योग्य प्रकारेच केला आहे. पोकळीमध्ये साऱ्या वस्तू एकाच वेगाने खाली पडतात आणि गुरुत्वामुळे प्रत्येकास समान प्रवेग मिळतो. म्हणूनच मृत कुत्रा आणि गोळा या दोहोंसही गुरुत्वामुळे खाली पडतेवेळी समान गती (एकसारखाच प्रवेग) मिळावयास हवा. किंवा असे म्हटले पाहिजे की, गुरुत्वामुळे, त्यांच्या आरंभ-गती समान प्रमाणात कमी झाल्या, तर मग दोन्ही वस्तू एकाच वेगाने व एकमेकांबरोबर धावत राहणार. म्हणूनच मृत कुत्रा बाहेर फेकल्यानंतर गोळ्याचे मागोमाग त्याच्याच मार्गाने जात राहिला.

ज्यूल वेर्नची गफलत अशी : जर मृत कुत्रा बाहेर फेकल्यानंतर परत पृथ्वीवर पडला नाही, तर तो गोळ्याच्या आतल्या भागात का पडावा ? दोहोंच्या बाबतीत तर एकच समान प्रेरणा कार्य करीत आहे! गोळ्याच्या आतील हवेत आधांतरी लोंबकळणारा मृत कुत्रा त्याच स्थितीत रहावयास पाहिजे. कारण, त्याचा वेग अगदी गोळ्याएवढाच होता; तर मग तो **गोळ्याच्या सापेक्ष** अचल स्थितीत असणार.

मृत कुत्र्यास जो नियम लागू, तोच प्रवाशांना व आतील सर्व वस्तूंना लागू पडतो, कारण ते कक्षामार्गात गोळ्याच्याच वेगाने जात होते. म्हणूनच, एखाद्याने खुर्ची घ्यावी, उलटी करावी आणि छतापर्यंत उचलावी; ती खाली पडणार नाही, कारण ती छतासह मार्गक्रमण करीत राहणार. एखादा

या खुर्चीवर उलट स्थितीत बसेलही, पण तो "खाली" पडणार नाही. अखेर त्याला कोण खाली पाडणार? जर तो पडला किंवा तरंगत खाली आला तर, गोळयाचा वेग खुर्चीवरील प्रवाशाच्या वेगापेक्षा जास्त आहे, असाच त्याचा अर्थ होईल; अन्यथा खुर्ची तरंगती किंवा पडती राहणार नाही. पण ते शक्य नाही कारण, आपणास ठाऊक आहे की आतल्या साऱ्यांचा प्रवेग खुद्द गोळयाच्या प्रवेगाएवढाच आहे. त्याचे मत असे होते की, गोळयातील सर्व वस्तू केवळ आकर्षणात्मक बलाच्या प्रभावावरच असून त्या, आकाशात असल्या तरीही खाली दाब देत राहतील. तो हे विसरला की, जेव्हा वस्तू आणि तिला आधार देणारी जमीन एकाच गतीने (आकर्षणात्मक प्रेरणेमुळे दिल्या गेलेल्या गतीमुळे) अवकाशात भ्रमण करीत असतील तर त्या एकमेकांवर दाब देणे शक्य नाही.

तर मग, स्वतःच्याच संवेगामुळे जेव्हा गोळा पुढील मार्गक्रमण करू लागेल, तेव्हा आतील प्रवासी पूर्णतया वजनविरहित अवस्थेत जातील आणि इतरांसह आत तरंगू लागतील. ही एकच अनुभूती प्रवाशांना तात्काळ सांगू शकली असती की ते अवकाशात प्रवास करीत आहेत की तोफेतच आहेत. तथापि, ज्यूल वेर्न म्हणतो, की गोळा अवकाशात उडविल्या नंतरच्या अर्ध्या तासापर्यंत प्रवाशांना आपण गतिमान आहोत की नाही याचा अंदाजच लागला नाही.

"निकोल, आपण मार्गस्थ आहोत काय?"

निकोल आणि बार्बिकेनने एकमेकांकडे पाहिले. आतापावेतो गोळा हालत असल्याचे त्यांच्या ध्यानी आले नव्हते.

"तर मग, आपण खरोखरीच मार्गक्रमण करीत आहोत का?" मायकेल आर्डनने तीच पृच्छा केली.

"का फ्लॉरिडाच्या मातीवर स्वस्थ पडून आहोत?" निकोलने विचारले.

"की मेक्सिकोच्या आखाततळी आहोत—?" मायकेलने पुस्ती जोडली.

एखाद्या जहाजावरील प्रवाशास अशा शंका घेता येतील, पण अवकाश-प्रवाशांच्या बाबतीत त्या अगदी अनावश्यक ठरतात. कारण, वजनविरहित अवस्थेची दखल त्यास शक्यच नसते. बोटीवरील प्रवाशास तशी दखल किंवा जाणीव नैसर्गिकपणे होते.

ज्यूल वेर्नचा गोळा म्हणजे एक कल्पनारम्य छोटे जगच म्हटले पाहिजे. या जगातील वस्तू वजनविरहित आणि तरंगणाऱ्या, जेथे असतील तेथेच राहणाऱ्या; जेथे ठेवल्या जातील तेथेच तोल सांभाळणाऱ्या आणि कलत्या बाटलीतील पाणीही न पडणारे असे होते. ज्यूल वेर्नचे थोडक्यात चुकले.

अन्यथा, मोठ्या मनोवेधक अन् विस्मयपूर्ण कल्पनाविलासाची केवढी तरी सुरेख संधी मिळाली असती. ! *

खोटया वजनकाटयाने अचूक वजन

अचूक वजन करण्यासाठी काय महत्त्वाचे?—तराजू की वजने ? दोहोंचेही महत्त्व सारखेच आहे असे घाईगर्दीने उत्तर देऊ नका. जोपर्यंत आपल्या जवळ बरोबर (प्रमाणित) वजने आहेत, तोपर्यंत चुकीच्या किंवा खोटया तराजूच्या सहाय्याने देखील आपणाला अचूक वजन करता येईल. यासाठी ज्या विविध पद्धती वापरल्या जातात त्यातील दोन येथे पाहूया.

यापैकी पहिली पद्धत दमित्रीई मेंदेलेव या महान रशियन रसायनशास्त्रज्ञाने सुचविली आहे. सुरुवातीस, कोणतीही वस्तू तराजूच्या पात्रात ठेवा. एक लक्षात ठेवा की ज्याचे अचूक वजन करावयाचे असेल त्यापेक्षा ही वस्तू (एक किंवा अधिक), ज्या वस्तूचे अचूक वजन करावयाचे आहे तीपेक्षा जादा वजनदार हवी. आता आपल्याजवळ जी प्रमाणित वजने आहेत, त्यांचे सहाय्याने (ती दुसऱ्या पात्रात ठेऊन) बरोबर वजन करा. नंतर ज्या वस्तूचे अचूक वजन करावयाचे आहे ती या प्रमाणित वजने असणाऱ्या पात्रात ठेवा; ते खाली जाईल. आता काटा पुन्हा मध्यभागी आणण्यासाठी जरुर तेवढी प्रमाणित वजने बाहेर काढा. या बाहेर काढलेल्या वजनांची एकूण बेरीज म्हणजेच आपल्याला हवे असलेल्या वस्तूचे अचूक वजन होय. या पद्धतीस "स्थिर वजनाची पद्धत" असे म्हणतात. जेव्हा अनेक वस्तूंचे एका मागोमाग एक याप्रमाणे वजन करावयाचे असते, तेव्हा ही पद्धत फार सोयिस्कर ठरते. सुरुवातीला जे वजन (वस्तू) एका पात्रात टाकलेले असते, ते आपल्याला हवे असलेल्या वस्तूचे वजन करण्यासाठी वापरले जाते.

दुसरी पद्धत, ते सुचविणाऱ्याच्या नावाने म्हणजे "बोर्डा पद्धत" म्हणून ओळखली जाते व ती पुढीलप्रमाणे आहे. ज्या वस्तूचे आपणास वजन करावयाचे आहे ती तराजूच्या एका पात्रात ठेवा. नंतर दुसऱ्या पात्रात वाळू टाकून काटा बरोबर मध्यभागी आणा. तसे झाले की, वस्तू बाहेर काढा,

---

* सोविएत आणि अमेरिकन अंतराळवीरांनी माहिती दिल्याप्रमाणे आणि बाह्य अवकाशातील चित्रीकरण पहावयास मिळाल्यामुळे, वजनविरहित अवस्थेत राहणे व काम करणे कशा स्वरूपाचे असते, ते आता चांगले ठाऊक झाले आहे. तसेच, आपल्यापैकी अनेकांनी बाह्य अवकाशातून पाठविण्यात आलेली दूरचित्रेही नक्कीच पाहिली असतील. —संपादक.

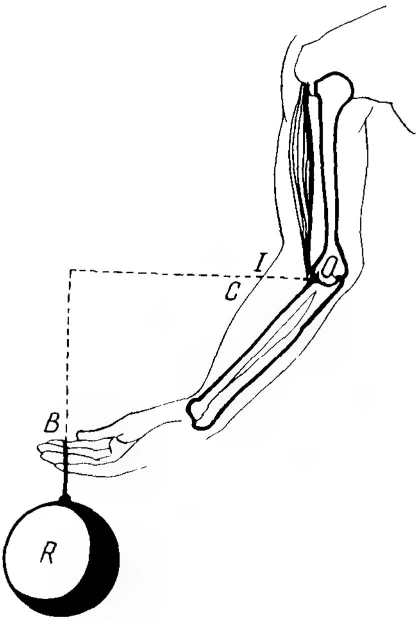
पण दुसऱ्या पात्रातील वाळूस मात्र धक्का लावू नका. मग रिकाम्या झालेल्या पात्रात प्रमाणित वजने टाकून काटा परत मध्यभागी आणा. आता या प्रमाणित वजनांची बेरीज करा व तेवढेच तुमच्या वस्तूचे अचूक वजन होय या पद्धतीस "अदलाबदलीची वजन पद्धती" असेही म्हणता येईल.

एकपात्री ताणकाटयाचे बाबतीतही या साध्या पद्धतीचा वापर करता येतो, पण वजने मात्र प्रमाणित हवीत. ज्या वस्तूचे अचूक वजन हवे आहे ती पात्रात ठेऊन काटा किती वजन दर्शवितो ते पहा. मग वस्तू काढून घेऊन रिकाम्या झालेल्या पात्रात, काटा पूर्वीएवढेच वजन दाखवेपर्यंत प्रमाणित वजने टाका. त्यांची एकूण बेरीज म्हणजेच वस्तूचे अचूक वजन होय.

तुम्ही समजता त्यापेक्षाही अधिक ताकदवान

आपण एका हाताने किती वजन उचलू शकता ? असे समजूया की आपण १० कि. ग्रॅ. वजन उचलू शकता. आपल्या स्नायूंची ताकद हा आकडा दर्शवितो काय ? तसे मुळीच नाही. आपल्या हाताचे स्नायू कितीतरी जास्त ताकदवान आहेत. आकृती २७ मध्ये स्नायू कसे काम करतात ते दर्शविले आहे. कोपर आणि मनगट यातील प्रबाहु (हाड) ही जी तरफ आहे तिच्या टेकूनजिक (O) हे स्नायू जोडलेले आहेत. जे वजन आपण उचलता त्याचा परिणाम या सजीव तरफेच्या दुसऱ्या टोकापाशी होतो. वजन आणि टेकू ऊर्फ सांधा यातील अंतर (BO) हे प्रबाहूतील स्नायूंचा शेवट व टेकू यातील IO अंतराच्या सुमारें आठ पट असते. याचा अर्थ असा की जेव्हा १० कि. ग्रॅ. वजन आपण उचलता तेव्हा प्रबाहूचे स्नायू आठ पट जादा शक्तीचा जोर लावतात, म्हणजेच ते ८० कि. ग्रॅ. वजन उचलू शकतात.

आपल्या प्रत्येकाच्या समजुतीपेक्षा आपण कितीतरी जास्त ताकदवान असतो, अथवा प्रत्येकाचे स्नायू, ते जेवढे काही कार्य करतात, त्यापेक्षा कितीतरी अधिक प्रमाणात शक्तिमान असतात. ही काही आयोजित उपयुक्त सोय आहे काय ? मुळीच नाही, असे आपण म्हणाल. ज्याचा काहीच फायदा नाही, पण नुकसान मात्र जरूर आहे असाच हा प्रकार दिसतो. तथापि, यंत्रशास्त्रातील पुरातन सुवर्णमध्य नियम आठवा. जो काही शक्तीचा ऱ्हास होतो त्याच्या बदली विस्थापन (स्थलांतर) उपलब्ध होते. या ठिकाणी वेगाच्या रूपाने भरपाई होते. आपला हात स्नायूंपेक्षा आठ पट जास्त वेगाने हालतो. प्राण्यांमधल्या स्नायूंच्या रचनेमुळे त्यांना पायांची टोके अधिक चपलतेमुळे हालविता येतात.



आ. २७

प्राबाहू C तरफेप्रमाणे कार्य करतो; I या बिंदूवर बल कार्य करते; O बिंदूपाशी टेकू असून R हे वजन B बिंदूपासून उचलले जात आहे. IO पेक्षा BO साधारणतः आठ पटीने जास्त लांब आहे.

टोकदार वस्तूने छिद्र का पडते?

सुई किंवा दाभण सहजगत्या टोचल्या जातो याचे कधी आश्चर्य वाटले का? एखाद्या सुईने कापडास किंवा जाडसर कागदास छिद्र पाडणे अगदी सोपे असते पण बोथट खिळयाने मात्र सहजासहजी ते जमत नाही, असे का? दोहोंवरही सारखाच जोर दिला जातो ना? जोर सारखाच, पण त्यामुळे कापडावर किंवा कागदावर पडणारा **दाब** मात्र सारखा नसतो. सुईच्या बाबतीत हा दाब एका बिंदूत केंद्रित झालेला असतो तर बोथट खिळयाच्या बाबतीत तेवढाच दाब, बोथट टोकाच्या मोठ्या क्षेत्रफळावर विखुरला जातो. म्हणूनच, सुईवर समान जोर दिला असूनही, सुई ही बोथट खिळयापेक्षा कितीतरी अधिक दाब निर्माण करते व त्यामुळ सहजगत्या आरपार जाते.

मातीची ढेकळे फोडण्याची दातेरी फावडी आपण पाहिलीच असतील. वीस दात्यांच्या फावड्याने साठ दात्यांच्या फावड्यापेक्षा अधिक खोलवरची माती मोकळी केली जाते, याचे कारण काय ? पहिल्या प्रकारच्या फावड्यातील **प्रत्येक दात्यावर अधिक दाब** असतो, तेवढा तो दुसऱ्या प्रकारातील फावड्यावर नसतो.

जेव्हा आपण दाबाबद्दल बोलतो, तेव्हा तो किती क्षेत्रफळावर कार्य करतो हे पण ध्यानात घेतले पाहिजे. एखाद्या कामगारास १०० रुपये मिळतात असे सांगितले तर ते कमी आहेत की जास्त, हे सांगता येत नाही. कारण ही रक्कम वर्षाची की एक महिन्यापुरती हे माहीत नसते.

दाबाचा परिणाम क्षेत्रफळानुसार असतो. दाब एका चौरस सें. मी. वर विखुरला आहे की एक-शंभरांश मि. मी. वर, या माहितीची जरुरी असते.

बर्फावरून चालण्यास, विशेषतः घसरण्याचा खेळ खेळण्यास फळ्या लावलेले बूट वापरले तर त्यांची खूप मदत होते. असे का ? तर तुमच्या शरीराचे वजन फळ्यांच्या मोठ्या क्षेत्रफळावर विखुरले जाते. बुटांच्या निव्वळ तळव्यांपेक्षा फळ्यांचे क्षेत्रफळ २० पटीनो जास्त असेल, तर बर्फावर बुटांच्या मानाने एक-विसांशच दाब पडेल. म्हणूनच, फळ्यांच्या बुटांमुळे नुकत्याच पडलेल्या बर्फावर आपण उभे राहू शकतो, पण फळ्या नसलेले बूट घालून उभे राहिलो तर बर्फात चांगलेच खोल रुतले जाऊ.

दलदलीच्या भागात काम करणाऱ्या घोड्यांना याच कारणासाठी खास आकाराचे नाल बसविलेले असतात. त्यामुळे भरपूर आधार मिळून दर चौरस सें. मी. वर येणारा दाबही कमी होतो. अशाच दलदलीतून माणसांना जावयाचे असेल तर ते पालथे पडून सरकत जातात, म्हणजेच आपले वजन जास्त क्षेत्रफळावर विखुरतात.

रणगाडे व ट्रॅक्टर हे खूप वजनदार असले तरी वाळूत किंवा भुसभुशीत जमिनीत रुतत नाहीत, कारण त्यांचे वजन विस्तृत क्षेत्रफळावर वाटले जाते. आठ टनी ट्रॅक्टर, दर चौरस सें. मी. वर फक्त ६०० ग्रॅमचा भार टाकतो. दर चौरस सें. मी. वर २ टनांऐवजी अवघा १६० ग्रॅमचा दाब देणारे ट्रॅक्टर असून त्यामुळेच ते दलदल, वाळू किंवा चिखलातून जाऊ शकतात. आधार देणारे मोठे क्षेत्रफळ या ठिकाणी उपलब्ध असते, तर सुईच्या बाबतीत नेमकी उलट परिस्थिती असते.

या साऱ्या विवेचनावरून ध्यानात येईल की, टोकदार वस्तू छिद्र पाडते कारण दाबाचा परिणाम अत्यल्प क्षेत्रफळावर होतो. याच कारणामुळे बोथट चाकूपेक्षा धारदार चाकूने अधिक चांगल्या प्रकारे कापले जाते. धारदार

बाजूच्या कमी क्षेत्रफळावर सारा जोर केंद्रित होतो.

सुखदायक बिछाना.... खडकाचा !

खुर्ची व स्टूल लाकडाचेच खरे! पण स्टुलावर बसण्यापेक्षा खुर्चीत बसणे अधिक आरामशीर, सुखदायक का वाटते ? विणलेल्या खाटेवर बसणे आरामशीर वाटते पण त्यासाठी वापरलेल्या दोऱ्या मात्र मऊ नसतात. असे का ?

मला वाटते, यामागील कारणे आपण केव्हाच जाणली असावीत. स्टुलाची बैठक सपाट असते. तीवर जेव्हा आपण बसतो तेव्हा सारे वजन लहानशा क्षेत्रफळावर असते. खुर्च्यांच्या बैठकी मोठ्या व काहींशा बाकदार आकाराच्या असतात. यामुळे जास्त क्षेत्रफळावर दाब टाकला जातो. क्षेत्र-फळाच्या प्रत्येक एककावर (म्हणजे दर चौरस सें. मी. वर) छोटेसे वजन, छोटासा दाब येतो.

दाब सर्वत्र सारख्या प्रमाणात देणे ही यामागील युक्ती आहे. मऊ गादीस शरीराच्या खोलगट व उंचावलेल्या भागांशी मिळतेजुळते आकार दिले जातात. दाब त्यामुळे बराचसा एकसारखा, बराचसा समप्रमाणात दिला जातो व त्यामुळे तो दर चौरस सें. मी. वर अवघा काही ग्रॅमच पडतो. साहजिकच, गादी सुखदायक वाटल्यास नवल नाही.

पुढील हिशेब हा मुद्दा चांगला स्पष्ट करेल. मोठ्या माणसाच्या शरी-राचे क्षेत्रफळ अंदाजे २ चौरस मीटर अथवा २०,००० चौरस सें. मी. भरते. गादीत एक-चतुर्थांश म्हणजे ०.५ मी. अथवा ५,००० चौरस सें. मी. क्षेत्र-फळ त्यास आधार देते. माणसाचे वजन ६० कि. ग्रॅम समजले तर ६०,००० ÷ ५००० = १२, म्हणजेच दर चौरस सें. मी. वर १२ ग्रॅम वजन पडते. निव्वळ फळीवर किंवा फरशीवर झोपलो तर खूप कमी ठिकाणी शरीर टेकते आणि जेमतेम १०० चौरस सें. मी. वर ६० कि. ग्रॅ. वजन टाकले जाते, किंवा दर चौरस सें. मी. वर साधारणपणे अर्धा कि. ग्रॅ. दाब पडतो. अगदी नजरेत भरण्याजोगा हा फरक आहे आणि त्याची जाणीव तावडतोब होते.

अगदी कठीण बिछानासुद्धा पिसांच्या बिछान्यापेक्षा मऊ वाटेल, पण त्यासाठी आपणास आपले वजन सर्वत्र विखुरता आले पाहिजे. कल्पना करा की मऊ चिखलात आपल्या शरीराचा, झोपलेल्या अवस्थेचा साचा उमटविला आहे. तो जेव्हा वाळून कडक बनेल (वाळताना पाच ते दहा टक्के चिखल आक्रसेल, पण ते विचारात नाही घेतले तरी चालेल) तेव्हा या साच्यात आपण पुन्हा झोपू शकाल आणि अगदी पिसांच्या गादीवरच पडलो आहोत असेच आपणास वाटेल. कारण आपले वजन, आपल्याला आधारभूत ठर-णाऱ्या अशा फार मोठ्या क्षेत्रफळावर विखुरले गेलेले असणार !

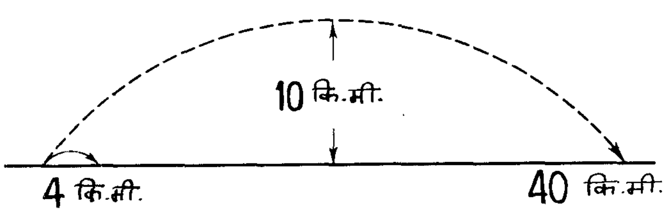
प्रकरण ३ रे

वातावरणाचा प्रतिरोध

बंदुकीची गोळी आणि हवा

प्रत्येक शाळकरी मुलासमुद्धा ठाऊक असेल की, बंदुकीची गोळी उडविली असता तिला हवेमुळे अडथळा येतो. पण या अडथळ्याचे प्रमाण केवढे मोठे असते, याची कल्पना फारच थोड्या जणांना असेल. वेळोवेळी जणू "कुरवाळणारी" आणि आपले अस्तित्वही जाणू न देणारी अशी हवा वेगाने उडणाऱ्या गोळीच्या वाटेत येण्याचे काहीच कारण नाही, असेच आपणास वाटते ना ?

तथापि, आकृती २८ कडे जरा नीट लक्ष द्या. म्हणजे मग गोळीच्या मार्गातील हवेचा अडथळा केवढा गंभीर असतो ते ध्यानात येईल. हवेचा अडथळा अजिबात नाही असे समजल्यास गोळी, आकृतीतील तुटक व मोठ्या अशा वक्र मार्गाने जाईल. इथे, ४५ अंशाचा कोन केलेल्या बंदुकीतून सेकंदास ६२० मी. या आरंभगतीने गोळी उडविली आहे. ती १० कि. मी. उंचीची भली मोठी कमान करून ४० कि. मी. अंतर सहज कापेल. पण हवेच्या



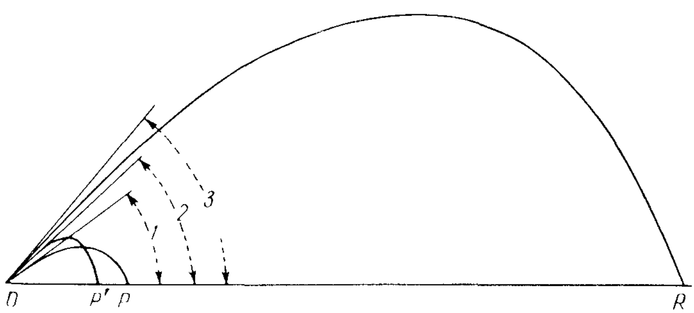
आ. २८ बंदुकीच्या गोळीचे हवेतील आणि निर्वात जागेतील उड्डाण. वातावरण नसल्यास मोठा, तुटक रेषेने दर्शविलेला वक्राकार गतीमार्ग रेखाटला जाईल. डावीकडील छोटा वक्राकार मार्ग हाच खरा गतीमार्ग होय.

अडथळ्यामुळे प्रत्यक्षात केवळ ८ कि. मी. अंतरच जाते. त्यामुळे तयार होणारी छोटीशी कमान पहिल्या कमानीशेजारी ठेवल्यास सहजासहजी ती नजरेस येणेही अवघड होईल. हवेच्या उर्फ वातावरणाच्या प्रतिरोधाचा केवढा परिणाम असतो ते आता आपल्या चांगलेच ध्यानात आले असेल.

लांब पल्ल्याची तोफ : "बिग बर्था"

१९१८ मध्ये जर्मन सैन्याने लांब पल्ल्याची तोफ वापरून १०० कि. मी. किंवा जास्त अंतरावर अग्निगोळे फेकण्याचे तंत्र, प्रथमतःच वापरले. ती वेळ होती पहिले महायुद्ध संपण्याची आणि फरेंच व इंग्रज हवाई दलाने जर्मनीचे हवाई हल्ले संपुष्टात आणण्यास सुरुवात केली होती.

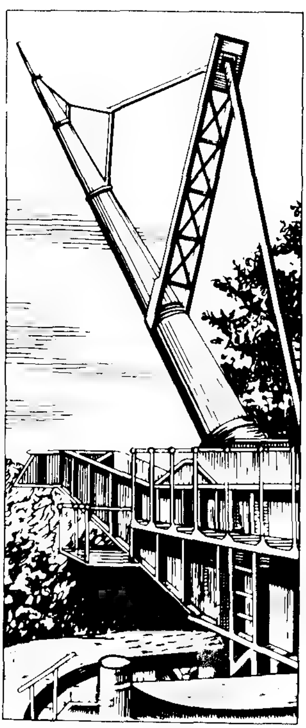
जर्मन फळीपासून फरान्सची राजधानी ११० कि. मी. अंतरावर होती. जमिनीपासून मोठा कोन केलेल्या तोफांमधून अग्निगोळे उडविताना अचानक त्यांच्या असे ध्यानात आले की २० ऐवजी ६० कि. मी. अंतरापर्यंत गोळे फेकणे शक्य आहे, खूप उंचावलेल्या तोफेच्या तोंडातून गोळे सोडल्यास ते खूप उंची गाठतात, पण त्यासाठी त्यांची आरंभगती मात्र फार मोठी हवी. एवढ्या उंचीवर वातावरण विरल असल्यामुळे हवेचा प्रतिरोध कमी असतो.



आ. २९ लांब पल्ल्याच्या तोफेचा पल्ला वेगवेगळ्या कोनानुसार बदलतो. कोन 1 च्या बाबतीत गोळा p बिंदूनजीक पडेल आणि कोन 2 च्या बाबतीत p नजीक, तर कोन 3 असताना गोळा विरल अशा स्थितांबरातून जाणारा असल्यामुळे खूप दूरवर जाऊन पडेल.

साहजिकच, गोळा खालच्या दिशेस वळण्यापूर्वी पुष्कळसे अंतर चालून जातो. आकृती २९ मध्ये, तोफ वेगवेगळ्या कोनात ठेवल्यास गोळा जाण्याचे मार्ग कसे असतील ते दाखविले आहे. ११५ कि. मी. अंतरावरील पॅरिस नगरीवर गोळाफेक करण्यासाठी जर्मनांनी जी लांब पल्ल्याची तोफ तयार केली, त्यामागचे तत्त्व हेच होते. अशी **"बिग बर्था"** नावाची तोफ तयार केली गेली आणि त्यातून १९१८ च्या उन्हाळ्यात तीनशेहून जास्त अग्निगोळे पॅरिसवर टाकले गेले.

नंतर असे दिसून आले की, "बिग बर्था" एका प्रचंड पोलादी पाईपापासून तयार केली होती व ती ३४ मी. लांब व एक मीटर जाड होती. ती तोलून धरणाऱ्या पोलादी कांबी ४० सें. मी. जाड होत्या. तोफेचे वजन ७५० टन होते. त्यातून सोडण्यात येणारे अग्निगोळे प्रत्येकी १ मीटर लांब, २१ सें. मी. जाड व १२० कि. ग्रॅ. वजनाचे होते. प्रत्येकात १५० कि. ग्रॅ.



आ. ३० ‘बिग बर्था’ नामक प्रचंड तोफ.

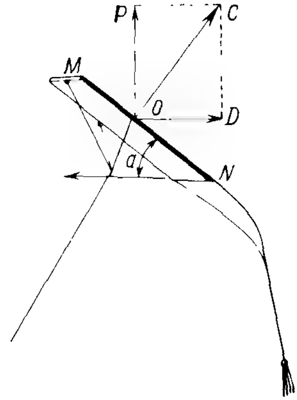
बंदुकीची दारू भरलेली होती, तर ५००० वातावरणीय दाब आणि सेकंदास २,००० कि. मी. एवढी आरंभगती गोळ्यास मिळत असे. जमिनीशी ५२ अंशाचा कोन करून ही तोफ बसविण्यात आली होती. अग्निगोळा सोडल्यानंतर प्रचंड वक्राकार मार्ग तयार होऊन त्याची कमाल उंची जमिनीपासून ४० कि. मी. पर्यंत जात असे. या ठिकाणी वातावरणाचा स्थितांबर हा भाग आहे. अग्निगोळा साडेतीन मिनिटात पॅरिसवर धडकत असे व त्यापैकी दोन मिनिटे तो स्थितांबर भागात असे.

इतिहासकालातील लांब पल्ल्याची पहिली तोफ म्हणून बिग बर्थाचा लौकिक तर आहेच, शिवाय लांब पल्ल्याच्या अत्याधुनिक तोफांची ती जननीही ठरली.

या ठिकाणी एक गोष्ट ध्यानात घ्यावयास हवी की, गोळीची किंवा गोळ्याची आरंभगती जेवढी जास्त तेवढा वातावरणाचा प्रतिरोध अधिक. हवेच्या गतीच्या प्रमाणात त्यामध्ये वाढ होत नाही तर प्रमाणापेक्षाही जास्त, वर्ग, घन इत्यादी वाढत्या प्रमाणात वाढ होत असून ती या आरंभगतीवर अवलंबून असते.

पतंग का उडतो ?

दोरा खेचल्यावर पतंग का वर जातो याचे कारण आपणास ठाऊक आहे का ? जर याविषयी आपणास माहिती असेल तर विमान का उडते आणि केशगुच्छ असणाऱ्या बिया हवेत का तरंगतात याचीही कारणे उघड होतील.



पतंग उडण्यास कारणीभूत ठरणाऱ्या वेगवेगळ्या प्रेरणा. आ. ३१

तसेच, बुमरँगनामक हत्याराचे तऱ्हेवाईक मार्गक्रमण कसे घडते त्याचाही काही प्रमाणात उलगडा होईल. हे सारे प्रकार एकमेकांशी संबंधित आहेत. जी हवा बंदुकीच्या गोळीच्या मार्गात फार मोठा अडथळा आणते, ती पदरयुक्त बिया तरंगण्यास आणि अवजड विमानांच्या उड्डाणासही मदत करते.

पतंग का उडतो हे आपणास माहीत नसेल तर आकृती ३१ मध्ये त्याचे स्पष्टीकरण मिळेल. **MN** ही रेषा, पतंगाचा छेद दर्शविते. पतंग हवेत सोडल्यावर आपण जेव्हा त्याची दोरी खेचतो, तेव्हा वजनदार शेपटीमुळे जमिनीशी काही अंशाचा कोन करून तो उडतो. असे समजू की पतंग डावीकडून उजवीकडे जात असून क्षितिजाशी त्याने **A** हा कोन केलेला आहे. या पतंगावर कोणकोणत्या प्रेरणा काम करतात, ते आता पाहुया. हवेमुळे अर्थातच त्याच्या हालचालीत अडथळा येणार आणि त्यावर काही प्रमाणात दाब दिला जाईल. आ. ३१ मध्ये तो **OC** या सदिश बाणाने दाखविला आहे. हवा नेहमीच लंब दिशेने पातळीवर दाब देत असल्यामुळे **MN** शी **OC** काटकोन करतो. **OC** या दाब ऊर्फ प्रेरणेच्या साहाय्याने **समांतरभुज चौकोनाची** उभारणी करून **OD** आणि **OP** या दोन प्रेरणात विभागता येईल. यापैकी **OD** या प्रेरणेमुळे पतंग मागे ढकलला जाऊन त्याची प्रारंभगती कमी होती. **OP** या दुसऱ्या प्रेरणेमुळे पतंग वर उचलला जाऊन त्याच्या वजनात घट होते. ही प्रेरणा जेव्हा भरपूर प्रमाणात वाढते, तेव्हा ती पतंगाच्या वजनावर मात करून त्याला वर नेते. यामुळेच, दोरा **वर** खेचल्यावर पतंग **वर** जातो.

विमान हे खरे पाहता एक प्रकारचा पतंगच होय. फरक एवढाच की ज्या अग्रगामी गतीमुळे ते वर जाते ती गती पतंगाप्रमाणे ओढण्यामुळे नव्हे, तर त्याच्या फिरत्या पंख्यामुळे (परिचालकामुळे) किंवा जेट इंजिनामुळे दिली जाते. तसे पाहिले तर हा फारच वरवरचा खुलासा झाला. विमान वर जाण्यास इतर कारणे असून त्याचे विवेचन माझ्या **"मनोरंजक भौतिकशास्त्र, भाग २"** यामध्ये "तरंग आणि वावटळी" यांच्या विवेचनात केलेले आहे.

सजीव आकाशयाने

विमाने ही पक्ष्यांप्रमाणे बनविलेली नसतात खरी, पण अनेकांची तशी समजूत होणे शक्य आहे. पण ती बरीचशी उडत्या खारीप्रमाणे किंवा माशांप्रमाणे असतात. हे प्राणी आपली यंत्रणा उडण्यासाठी वापरीत नसून केवळ मोठ्या अंतराचा टप्पा ओलांडण्यासाठी वापरतात. एखाद्या यंत्रहीन आकाशयानाप्रमाणे त्यांच्या उडण्याचे स्वरूप असते. त्यांच्याबाबतीत **OP** हे बल (आ. ३१) वजनावर मात करण्याएवढे नसते; केवळ वजन काही प्रमाणात



आ. ३२
उडत्या खारी २० ते ३० मी. उंचीवरून झेप घेतात.

कमी करते. म्हणूनच खूप उंचीवरून (झाडावरून) मोठी उडी घेणे त्यांना जमते. (आ. ३२). उडणारी खार एका झाडावरून २०–३० मी. खाली असणाऱ्या दुसऱ्या झाडाच्या फांदीवर उडी घेते. श्रीलंका व ईस्ट इंडीजमध्ये उडत्या खारींच्या मोठाल्या जाती (टॅग्वान ऊर्फ फ्लाइंग लेमूर) आढळतात. त्या आकाराने घरातील मांजराएवढ्या असून त्यांचा पंखांसारखा भाग अर्ध्या मीटरपर्यंत पसरतो. त्यामुळेच, वजनदार असूनही ५० मी. पर्यंत त्या उडी घेऊ शकतात. सुंदा बेटे व फिलिपाईन्स येथील फॅलँजर नामक प्राणी तर ७० मी. लांबीपर्यंत उडी घेतात.

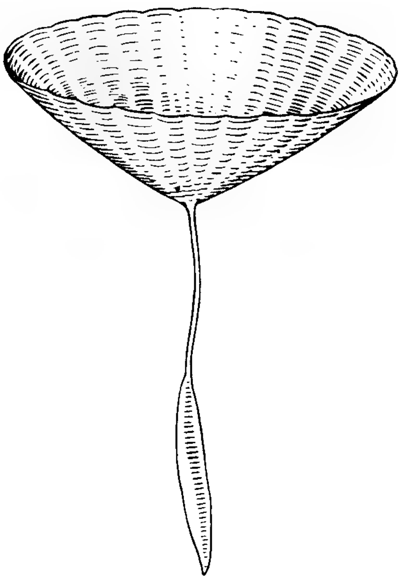
उडणाऱ्या वनस्पती.

उडत मार्गक्रमण करण्याचे तंत्र वनस्पतींमध्ये आढळून येते. फळांचा आणि बियांचा फैलाव होण्यास याची मदत होते. पुष्कळशा बियांना हवाई छत्रीप्रमाणे तुरा किंवा केशगुच्छ असतो. कापसाच्या बियांना; बाथर किंवा दुधळच्या बिया आपण पाहिल्याच असतील. इतर काही प्रकारच्या बियांमध्ये "बोकडाच्या दाढी" प्रमाणे किंवा पंखांप्रमाणे त्यांच्या हवाई छत्रीचे स्वरूप असते.

"**वनस्पती - जीवन**" या केर्नेर फॉन मेरिलॉडन यांच्या सुप्रसिद्ध पुस्तकात यासंबंधी पुढील माहिती आहे :

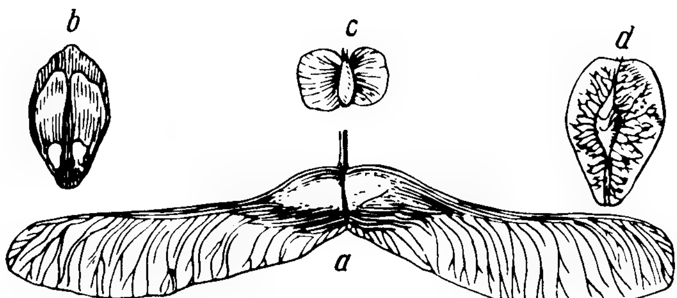
"स्वच्छ सूर्यप्रकाशाच्या दिवसात, अनेक बिया ऊर्ध्वमुखी वाऱ्यामुळ वाहून नेल्या जातात. संध्यासमयी मात्र त्या काही अंतरावर खाली तरंगत येतात. असे तरंगत जाणे बियांच्या दृष्टीने जरुरीचे असते. दूरवर जाणे मह-

त्वाचे नसते, मुख्य म्हणजे जमिनीच्या भेगात, खडकांच्या फटीत, डोंगराच्या उंचीपर्यंत पोहोचणे आवश्यक असते. उडत जाण्याशिवाय कोणत्याही प्रकारे ते शक्य नसते. मध्येच निर्माण होणाऱ्या हवेच्या आडव्या झोतामुळे त्या बऱ्याच दूरवर नेल्या जातात.



आ. ३३

'बोकडाच्या दाढी' सदृश बी.



आ. ३४ पंखधारी बिया– (a) मॅपल, (b) पाईन–वृक्ष, (c) बर्च आणि (d) एम्.

काही झाडांच्या बिया केवळ तरंगत असतानाच आपला तुरा किंवा केशगुच्छ टिकवू शकतात आणि अडथळा येताच तो गळून पडतो. थिसल या काटेरी वनस्पतीच्या बिया अडथळयावर आदळताच आपली हवाई छत्री अलग करतात आणि मग जमिनीवर पडतात. भिंती आणि कुंपणाजवळ थिसल बिया बहुधा आढळतात ते याच कारणामुळे. काही प्रकारच्या बियांमध्ये मात्र **त्यांची हवाई छत्री कायमची** जोडलेली आढळते.

आकृती ३३ व ३४ मध्ये, तरंगण्याचे तंत्र वापरणाऱ्या काही बियांचे प्रकार आपणास पहावयास मिळतील. या तरंगत्या बिया, मानवनिर्मित तरंगत्या अंतराळ यानापेक्षा कितीतरी वरचढ ठरतात. स्वतःच्या वजनाच्या तुलनेने त्या कितीतरी अधिक वजन तोलून धरतात आणि आपोआप स्थैर्य प्राप्त करून घेतात. काही झाडांच्या बिया (उदा. इंडियन जस्मिन) उलटयापालटया झाल्या तरी परत पूर्वस्थितीत येतात कारण त्यांना बाहेरच्या बाजूने फुगीर तळ असतो. जेव्हा त्या अडथळयास धडकतात तेव्हा मात्र त्या उलटयापालटया होऊन ओळंब्याप्रमाणे खाली न पडता अलगद खाली उतरतात.

हवाई छत्रीची लांबलेली उडी.

वरील शीर्षक वाचताच हवाई छत्रीधारी व्यक्तीची धाडसी उडी डोळयांसमोर येते. सुमारे १० कि. मी. उंचीवरून ते उडी घेतात आणि दगडाप्रमाणे काही वेळ सरळ खाली आल्यानंतरच हवाई छत्री उघडणारी दोरी खेचतात. पुष्कळांना असे वाटेल की अशा लांबविलेल्या उडीत, हवाई छत्रीधारी पोकळीयुक्त अवकाशातून खाली पडत असावा. तशी जर वस्तुस्थिती असती तर लांबविलेली उडी फारच अल्पायुषी ठरली असती. शिवाय, जमिनीनजिकची त्याची गती प्रचंड ठरेल.

तथापि, वातावरणाच्या प्रतिरोधामुळे प्रवेग रोखला जातो. अशा लांबविलेल्या उडीमध्ये पडणाऱ्या व्यक्तीची गती फक्त पहिल्या १० सेकंदातच व पहिल्या काही शंभर मीटरमध्येच वाढती असते. तोपावेतो वातावरणाचा प्रतिरोध एवढया मर्यादेपर्यंत वाढतो की पुढील प्रवेगाची वाढ थांबते आणि खाली पडणे एकसारखे ठरते.

लांबलेल्या उडीमागची काहीशी ढोबळ कल्पना, यंत्रशास्त्राच्या दृष्टीकोनातून पुढीलप्रमाणे मांडता येईल. छत्रीधारी व्यक्तीच्या वजनानुसार **प्रवेग** फक्त पहिल्या १२ सेकंदांपुरता किंवा त्याहूनही कमी अवधीपर्यंत चालू राहतो. या अवधीत ती व्यक्ती ४००–४५० मी. खाली येते आणि सेकंदास सुमारे ५० मी. ची गती त्यास प्राप्त होते. नंतर छत्री उघडण्याची दोरी खेचेपर्यंत ती एकसारख्या गतीने किंवा स्थिर वेगाने पडत राहते.

पावसाचे थेंब याचप्रमाणे खाली येतात. दोहोत फरक एवढाच की, पावसाच्या थेंबाच्या प्रवेगाचा सुरवातीचा काळ एका सेकंदापेक्षा जास्त नसतो. त्यामुळे त्याची जमिनीनजिकची गती छत्रीधारी व्यक्तीच्या लांबलेल्या उडीएवढी नसून थेंबाच्या आकारानुसार २ ते ७ मी. च्या दरम्यान असते.

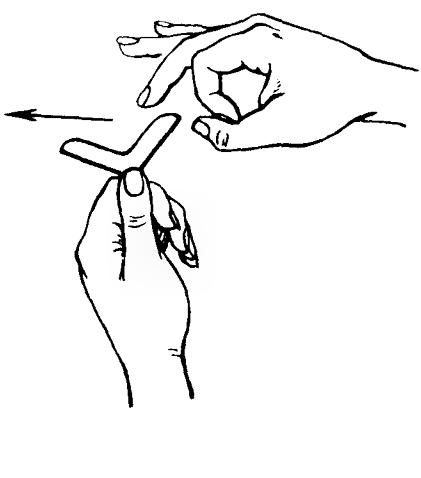
बुमरँग

अतिशय हुशारीने तयार करण्यात आलेल्या आणि आदिवासी माणसाने लावलेल्या सर्व शोधांत तांत्रिकदृष्टचा अगदी परिपूर्ण ठरलेल्या या शस्त्राने शास्त्रज्ञांना कोडयात टाकले होते. हे शस्त्र जो गुंतागुंतीचा वक्र मार्ग कापते तो पाहून कोणालाही आश्चर्यच वाटणार यात शंकाच नाही. आज मात्र बुमरँगमागील तत्त्व विशद करण्यासाठी परिपूर्ण उत्पत्ती उपलब्ध झाली आहे. ती येथे विस्तारपूर्वक सांगण्याएवढी सोपी मात्र मुळीच नाही. एवढेच सांगता येईल, बुमरँगच्या कार्यपद्धतीमध्ये त्याची स्वतःची फिरण्याची पद्धत, सुरुवातीला ते फेकण्याची रीत आणि वातावरणाचा अवरोध हे तीन महत्त्वाचे घटक आहेत. ऑस्ट्रेलियातील आदिवासींना या तीन गोष्टी एकाच वेळी कशाप्रकारे जुळवून आणावयाच्या याचे उपजत ज्ञान होते असे दिसते. अजाणतेपणे का होईना पण योग्य प्रकारे ते बुमरँग थोडेसे कलते धरीत आणि इच्छित परिणाम साधण्यासाठी कमी किंवा जास्त वेगाने फेकत.

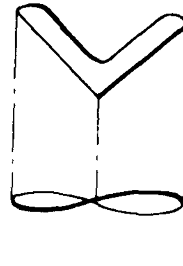


आ. ३५ ऑस्ट्रेलियातील आदिवासी बूमरँग फेकत आहे. लक्ष्य चुकले तर बूमरँग कसा गतीमार्ग रेखाटेल ते तुटक रेषेने दाखविले आहे.

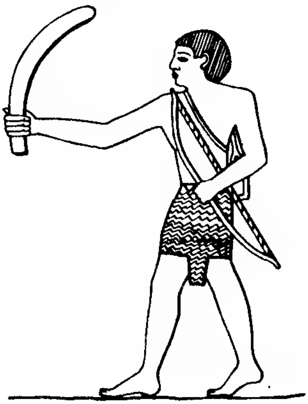
बुमरँगचे वैशिष्ठ्य हे की, ते दूरवर फेकले तरी फेकणाऱ्याच्या पायाशी परत येते. आपणाला देखील हे कौशल्य थोड्याशा प्रयत्नाने आत्मसात करता येईल. आकृती ३६ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे पुठ्ठ्याचे एक बुमरँग तयार करा. प्रत्येक बाजू सुमारे ५ सें. मी. व रुंदी सुमारे १ ते १.५ सें. मी. ठेवा. अंगठ्याच्या नखाने पहिल्या बोटावर ते दाबून धरा (आकृतीमध्ये दाखविल्याप्रमाणे) आणि किंचितशा उंचावलेल्या स्थितीत ते टिचकीने दूर उडवा, ते ५–७ मी. दूर उडेल. वळण घेऊन मागे फिरेल आणि आपल्या पायापाशी परतेल. मात्र वाटेत कोणताही अडथळा असता कामा नये. सरावाने यापेक्षाही चांगले बुमरँग आपण करू शकाल. तसेच विमानाच्या पंख्या-प्रमाणे त्यास (आ. ३७ मध्ये खालच्या बाजूस दाखविल्याप्रमाणे) थोडासा पीळही देता येईल. सरावाने गुंतागुंतीची वळणे घेण्यासाठी ते कसे फेकावे याचेही ज्ञान होईल (आ. ३५ प्रमाणे).



आ. ३६ पुठ्ठ्याचे बूमरँग व ते कसे फेकावे.



आ. ३७ पुठ्ठ्याच्या बूमरँगचा आणखी एक प्रकार.



प्राचीन इजिप्शियन योद्धा आ. ३८
बुमरँग फेकत आहे.

लोकांची समजूत असल्याप्रमाणे केवळ ऑस्ट्रेलियातील आदिवासींचेच हे उपकरण नव्हे. त्याचा वापर भारतात होत होताच आणि भित्तीचित्रांनुसार प्राचीन इजिप्तचे योद्धेही ते वापरत. ऑस्ट्रेलियात वापरल्या जाणाऱ्या बुमरँगचे वैशिष्ठ्य हे की, वर सांगितल्याप्रमाणे त्यास (विमानाच्या पंख्याप्रमाणे) थोडासा पीळ असे, म्हणनच त्याचे लक्ष्य हुकल्यास (म्हणजे फेकण्यात थोडीफार चूक झाल्यास) ते फेकणाऱ्याच्या पायाशी परतत असे.

प्रकरण ४ थे

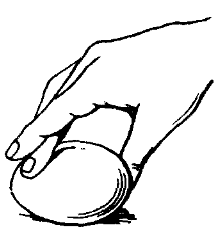
अक्षाभोवती परिभ्रमण. “ निरंतर चालणारी ” यंत्रे

उकडलेले आणि कच्चे अंडे ओळखणे.

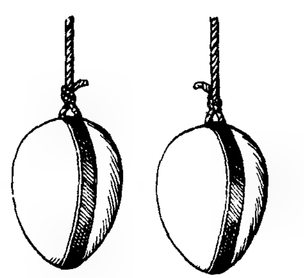
अंडे उकडलेले आहे की कच्चे आहे हे आपणास, ते न फोडता कसे ओळखता येईल ?

याचे उत्तर यंत्रशास्त्र देईल. उकडलेले अंडे कच्च्या अंड्यापेक्षा वेगळ्या प्रकारे फिरते. एक अंडे घ्या व ते सपाट पृष्ठभागावर ठेऊन त्यास गिरकी द्या (आ.३९). उकडलेले अंडे, (विशेषत: जास्त प्रमाणात उकडलेले) कच्च्या अंड्यापेक्षा अधिक वेगाने व जास्त वेळ फिरेल खरे पाहता, कच्चे अंडे फिरवणेसुद्धा अवघड जाईल. उकडलेले अंडे एवढ्या जोराने फिरते की अंडे न दिसता सपाट व पांढरी लंबगोल आकृतीच दिसू लागेल. जरा वेगाने गिरकी दिली तर ते निमुळत्या टोकावर उभेसुद्धा राहील

याचे कारण असे की, उकडलेले अंडे अंतर्बाह्य एकच वस्तू असल्याप्रमाणे फिरते. कच्चे अंडे तसे फिरत नाही त्याच्या बाहेरील कवचास दिलेली गती,



आ. ३९ अंड्यास गिरकी देणे.



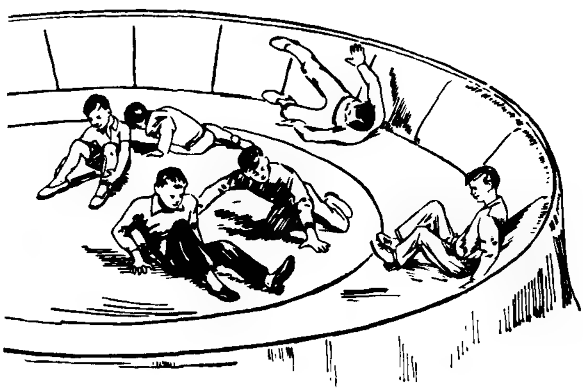
आ. ४० उकडलेले अंडे कच्च्या अंड्यापासून ओळखणे.

आतल्या द्रव भागास तात्काळ मिळत नाही आणि तो वेगरोधकाप्रमाणे काम करतो व जडत्वाच्या प्रभावाखाली (प्रेरणेखाली) कवचाचा वेग कमी करतो. तसेच, फिरता फिरता थांबण्यासही या दोन्ही अंड्यांना कमीजास्त वेळ लागतो. उकडलेले अंडे फिरत असताना जर त्यास बोट लावले तर ते लगेच थांबते, पण कच्च्या अंड्यास बोट लावून ते दूर केले तरी काही वेळ फिरतच राहते. या गोष्टीलाही जडत्वाचा प्रभाव कारणीभूत असतो. बाह्य कवच जरी थांबले तरी आतला द्रव पदार्थ फिरतच राहतो, तर उकडलेल्या अंड्याचा आतील घन भाग, बाहेरील कवचाबरोबरच थांबतो.

तत्वतः वरील प्रमाणेच, पण दुसऱ्या प्रकारची आणखी एक चाचणी घेता येईल. दोन्ही अंड्यांभोवती (त्यांच्या "दक्षिणोत्तर वृत्ता" भोवती) रबरी गोल अडकवा आणि दोरीने ती टांगा (आ. ४०). दोन्ही दोऱ्यांना सारखेच वळसे (पीळ) देऊन फिरू द्या. दोन्ही अंड्यांच्या फिरण्याचा फरक लगेच दिसून येईल. उकडलेल्या अंड्याच्या बाबतीत, जडत्वामुळे पीळ उलगडला गेला तरी फिरण्याच्या दिशेने परत पीळ बसेल, परत तो उलगडेल, परत पीळ बसेल, ही क्रिया अशीच चालू राहून अखेर ते स्थिर राहील. कच्चे अंडे पीळ उलगडला गेल्यावर विरुद्ध दिशेनेच क्वचितच परत फिरेल आणि फिरलेच तर एकदोन वळसे बसतील व उकडलेल्या अंड्याच्या तुलनेने कितीतरी अगोदर स्थिरावेल. वर सांगितल्याप्रमाणे आतील द्रव भागामुळे असे घडते व त्यामुळेच गती रोखली जाते.

भिंगरी – पात्र.

एक छत्री उघडून तिचे टोक जमीनीवर टेकवा व गरगरा फिरवा.



आ. ४१
फिरत्या भिंगरीच्या पृष्ठावरून मुले फेकली जात आहेत.

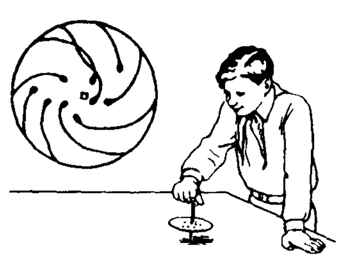
फिरत असताना तीमध्ये चेंडू अथवा कागदाचा बोळा टाका; तो फिरत्या छत्रीत राहणारच नाही, तर बाहेर फेकला जाईल. "केन्द्रोत्सारी प्रेरणे"मुळे असे होते ही समजूत चुकीची असून खरे तर जडत्वाचा तो परिणाम आहे. चेंडू किंवा बोळा त्रिज्येच्या मार्गाने जात नाही तर गोलाकार गतीस स्पर्शरेषेच्या दिशेने जातो.

काही सार्वजनिक बागांमध्ये करमणुकीसाठी भिंगरी - पात्र बसविलेले असते (आ. ४१). ते अक्षाभोवती परिभ्रमणाच्या तत्वावरच आधारलेले असून त्याच्या साहाय्याने जडत्वाचा नियम आपणाला सहज पडताळून पाहता येईल. त्यातील गोलाकार खोलगट जमीनीवर माणसे उभी किंवा बसू शकतात. एका गतीयंत्राचे सहाय्याने ते गरगरा फिरविले जाते. हळूहळू वेग एवढा वाढतो की जडत्वामुळे माणसे आहेत त्या जागी न राहता कडेच्या बाजूस घसरू लागतात. सुरुवातीला हे लक्षात येत नाही, पण मध्यबिंदूपासून जो जो दूर जावे तो तो वेग आणि गुरुत्व यांतील वाढ ध्यानात येते. आहे त्याच जागी उभे राहण्याचा कितीही प्रयत्न केला तरी ते शक्य होणार नाही, आणि अखेर आपण भिरकाविले जातो.

आपली पृथ्वी तत्वतः एक प्रचंड भिंगरीपात्रच आहे. ती आपणास भिरकावून देत नाही खरे, पण आपले वजन नक्कीच घटवते. परिभ्रमण अत्याधिक असणाऱ्या विषुववृत्तापाशी वजन १/३०० अंशाने घटते. त्याचप्रमाणे पृथ्वीच्या संपीडनामुळेही विषुववृत्तापाशी वजनात ०.५ टक्के अथवा १/२०० न घट होते. मोठ्या माणसाचे ध्रुवबिंदूपाशी जे वजन भरेल त्यापेक्षा विषुववृत्तापाशी ते ३०० ग्रॅम कमी भरेल.

शाईचे चक्रीवादळ.

चक्रीवादळातील मार्ग कसे असतात, ते एका सोप्या प्रयोगाने पाहता येईल. एक पांढरा पुठ्ठा घ्या व त्याची ८ ते १ सें. मी व्यासाची चकती कापा. तिच्या मध्यभागी एक काडी टोचून भिंगरी तयार करा (आ. ४२). हे लहान मुलांचे खेळणे खरे, पण मोठे बोधप्रद आहे. चकतीवर वेगवेगळ्या



आ. ४२

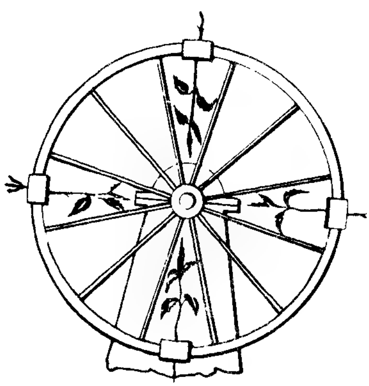
फिरत्या भिंगरीवरील शाईच्या थेंबाचे मार्ग असे रेखाटले जातात.

ठिकाणी शाईचे थेंब टाका आणि मग भिंगरी फिरवा. थेंबांचे काय होते ते जरा पहा बरे. त्यांनी चक्राकार रेषा काढल्या असतील– जणु चक्रीवादळच. पण हे साम्य म्हणजे योगायोग मुळीच नाही. भिंगरीपात्रात आपणाला जो अनुभव येतो, अगदी त्याच अवस्थेतून हे थेंब जातात. केन्द्रोत्सारी प्रेरणेमुळे थेंब मध्यबिंदूपासून दूर फेकले जातात. जिथे भिंगरीच्या परिभ्रमणाचा वेग थेंबापेक्षा जास्त आहे, त्याजागी थेंब पोहोचतो. या ठिकाणी थेंबापेक्षा चकती अधिक वेगाने फिरत असते. त्यामुळे थेंब त्रिज्यांच्या मागे रेंगाळत सरकत जातो. थेंब गोलाकार मार्ग का रेखाटतात त्याचे हे उत्तर आहे. वक्ररेषेतील गती त्यामुळे पाहावयास मिळते.

वातावरणाचा उच्च दाब निर्माण झाला असता त्याच्या मध्यबिंदूपासून दूर जाणारे (अपसारी) हवेचे प्रवाह (अपसारी चक्रीवादळातील) किंवा, कमी दाबाच्या हवेच्या मध्यबिंदूकडे वळणारे (अभिसारी) प्रवाह (अभिसारी चक्रीवादळातील), याच्या बाबतीत वरीलप्रमाणेच वस्तुस्थिती असते.

फसविलेले रोपटे.

वेगवान परिभ्रमणामुळे निर्माण होणारी केन्द्रोत्सारी प्रेरणा गुरुत्वाकर्षणाच्या प्रभावासही मागे टाकते. नाईट या वनस्पतीशास्त्रज्ञाने ही गोष्ट शंभर वर्षांपूर्वी प्रात्यक्षिकाद्वारे दाखवून दिली. सर्वांना ठाऊक आहे की, उगवत्या झाडाची खोडे गुरुत्वाच्या प्रेरणेच्या विरुद्ध दिशेने वाढतात. तथापि नाईट याने खोडांना खालच्या दिशेने वाढावयास भाग पाडले व त्यासाठी त्याने वेगाने फिरविल्या जाणाऱ्या चाकांचा उपयोग केला. चाकाच्या वरच्या बाजूवर, रुजणाऱ्या बियांची खोडे आतील दिशेने, तर मुळे बाहेरच्या दिशेने वाढली (आ. ४३).



आ. ४३

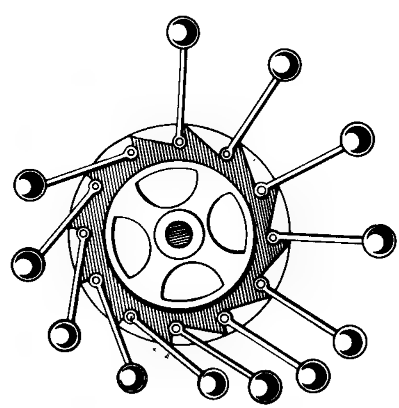
फिरत्या चाकाच्या कडेने रुजणाऱ्या बियांचे देठ आसाकडे आणि मुळे बाहेरच्या बाजूस वाढतात.

गुरुत्वाऐवजी केन्द्रोत्सारी प्रेरणा वापरून त्याने रोपट्यास एक प्रकारे फसविले. पृथ्वीच्या नैसर्गिक आकर्षणापेक्षा हे कृत्रिम गुरुत्व अधिक परिणामकारक ठरले. जाता जाता हे सांगणे आवश्यक आहे की, या स्पष्टीकरणास गुरुत्वाबद्दलचा आधुनिक सिद्धान्त तत्त्वतः हरकत घेत नाही.

"निरंतर गती"ची यंत्रे.

"निरंतर"गतीचा विषय पुष्कळदा चर्चिला जातो खरा; पण खरोखरीच त्याचे स्वरूप काय आहे याची स्पष्ट कल्पना कदाचित फारच कमी लोकांना असावी. "निरंतर गती"चे यंत्र ही एक कल्पनारम्य यंत्रणा असून त्यामध्ये कधीच न थांबणारी अशी अखंड गती असते. कधी कधी ती उपयुक्त कार्यही (उदा. वजन उचलण्याचे, इ.) करते (!) असे यंत्र तयार करण्याचे प्रयत्न अगदी प्राचीन कालापासून होत असले तरी ते अद्यापही साध्य झालेले नाही. या साऱ्या प्रयत्नातील निरर्थकता हेच सांगते की "निरंतर गती" असणारे यंत्र उभारणे अशक्य असून ते "ऊर्जेचे अविनाशित्व" या सिद्धांताच्या सर्वश्री विरुद्ध आहे. आधुनिक विज्ञानाचा हा सिद्धांत तर मूलभूत आधार ठरतो. म्हणूनच "निरंतर गती" अंत नसणारी व कोणतेच कार्य न करणारी गती ठरते.

आकृती ४४ मध्ये "निरंतर गती"चे एक अगदी जुन्या काळचे यंत्र दर्शविले असून काही लोक आजही त्याची सुधारित आवृत्ती तयार करण्याच्या प्रयत्नात आढळतात. या यंत्रात चाकाच्या कडेस दांड्या बसविलेल्या असून दांड्यांच्या टोकास वजनदार गोळे असतात. चाकाची कोणतीही स्थिती असो, उजवीकडची वजने चाकाच्या मध्यबिंदूपासून, डाव्या बाजूच्या वजना-



आ. ४४

'निरंतर काळ' फिरत राहणारे मध्ययुगीन चाक.

पेक्षा अधिक दूरच राहतात. त्यामुळे उजव्या बाजूचे वजन, डाव्या बाजूच्या वजनापेक्षा अधिकच असावयास हवे, शिवाय चाक फिरण्यास भाग पाडणारे हवे. म्हणजेच चाक निरंतर, कधीच न थांबता फिरले पाहिजे, किंवा त्याचा आस झीजेपावेतो तरी फिरले पाहिजे. या चाकाच्या शोधकाची बहुधा अशीच काहीशी समजूत असावी. असे यंत्र तयार करण्याचे फंदात मुळीच पडू नका; ते कधीच शक्य नाही. याचे कारण काय असावे?

उजव्या बाजूची वजने केंद्रबिंदूपासून नेहमी जरी दूर अंतरावर असली तरी एका विशिष्ट स्थितीमध्ये डावीकडील वजनांच्या संख्येपेक्षा ती कमीच असणार हे निर्विवाद आहे. आकृती ४४ कडे पुन्हा एकदा नजर टाका. उजव्या बाजूस फक्त ४ वजने असून डावीकडे ८ वजने आहेत. अशाप्रकारे सारी यंत्रणा संतुलित झाली आहे. चाक कधीच फिरणार नाही आणि फिरलेच तर लहानसा झोका घेऊन ते परत याच स्थितीत स्थिर होईल. (तथाकथित संवेग सिद्धांताच्या साहाय्याने या यंत्राची हालचाल विशद केली जाते).

"निरंतर गती"चे यंत्र म्हणजे ऊर्जेचे उगमस्थान असे निर्विवादपणे प्रतिपादन करणे अशक्य असते, आणि ही गोष्ट ठामपणे सिद्धही करण्यात आली आहे. तथापि, पूर्वीच्या किमयागारांना – विशेषत: मध्ययुगीन – असा प्रयत्न करण्याकडे "परिसा" पेक्षाही आकर्षित केले गेलेले दिसते. १९ व्या शतकातील अलेक्झांदर पुष्किन या रशियन कवीने आपल्या "**सामंतकालीन शूरवीरांच्या जीवनातील काही दृश्ये**" मध्ये असाच एक बेर्थोल्ड नामक स्वप्नाळू माणूस रंगविला आहे.

"**निरंतर गती** हा काय प्रकार आहे?" मार्टिनने विचारले.

"निरंतर गती म्हणजे अंत नसणारी गती!" बेर्थोल्डने सांगितले." जर मला ती प्रत्यक्षात उतरविता आली तर माणसाच्या प्रगतीस कोणताच अड-थळा राहणार नाही. हे बघ मार्टिन, सोने तयार करणे जर मोठे आकर्षक, मनोरंजक आणि फायदेशीर ठरत असेल तर, **निरंतर गती** प्रत्यक्षात उतरविता आली तर . . . ओहो, ते केवढे आश्चर्यकारक ठरेल!"

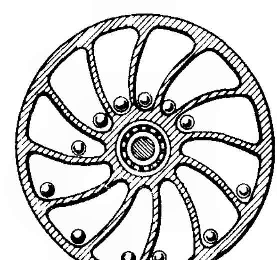
निरंतर गतीची शेकडो यंत्रे शोधण्यात आली खरी, पण एकसुद्धा चालले नाही. प्रत्येक संशोधकाने काही ना काही उणीव ठेवलीच. म्हणूनच घोडे पेंड खात राहिले.

आकृती ४५ मध्ये असेच एक "निरंतर गती"चे म्हणून समजले गेलेले यंत्र दाखविले आहे. हे एक चाक असून त्याच्या कप्प्यांमध्ये (बाहेरची बाजू व मध्यभाग यांनी तयार झालेल्या) वजनदार असे गोळे आहेत. चाकाच्या फिरण्यामुळे ते खाली घसरतात. कल्पना अशी की एका बाजूच्या कप्प्यातील कडेनजिकचे गोळे आपल्या वजनामुळे चाकास गती देतील.

पण ते प्रत्यक्षात कधीच शक्य होणार नाही व त्याचे कारण आ. ४४ मधल्या चाकाप्रमाणेच आहे. तरी पण, लॉस एंजल्स येथील एका हॉटेलच्या जाहिरातीसाठी एक भले मोठे चाक उभारण्यात आले. प्रत्यक्षात ती लबाडीच होती. ते फिरत होते खरे, पण त्यामागे मोठ्या धूर्तपणे लपविलेली यंत्रणा होती. लोकांना मात्र कप्प्यातील वजनदार गोळे घसरत असल्यामुळे ते फिरत आहे असेच वाटे. दुसरे एक असेच तथाकथित "निरंतर फिरणारे" पण प्रत्यक्षात विजेच्या सहाय्याने फिरते केलेले चक्र एका घड्याळजीच्या दुकानांत, लोकांना आकर्षित करण्यासाठी बसविले होते.

प्रसंगवशात् अशीच एक जाहिरात माझ्या विद्यार्थ्यांच्या मनावर चांगलाच परिणाम करून गेली. "निरंतर गती" अशक्य आहे असे मी त्यांना पुनःपुन्हा सांगितले. तरी त्यांचा विश्वास बसेना. पाहणे म्हणजे विश्वास ठेवणे असेच त्यांचे म्हणणे होते. त्या विद्यार्थ्यांनी गोळे घसरताना व त्यायोगे (आ. ४६) चाक फिरताना प्रत्यक्ष पाहिले होते, म्हणूनच ते त्यांना मनोमन पटत होते. ती एक लबाडी आहे व विद्युत्पुरवठ्यावर ते चालविले जाते असे सांगूनही उपयोग झाला नाही. पण दर रविवारी विद्युत्पुरवठा बंद असतो हे माझ्या ध्यानात आले आणि त्या दिवशी दुकानास भेट द्यावी असे मी त्यांना सुचविले.

"गेल्या रविवारी दुकानास भेट देऊन आपण ते "निरंतर गती"चे

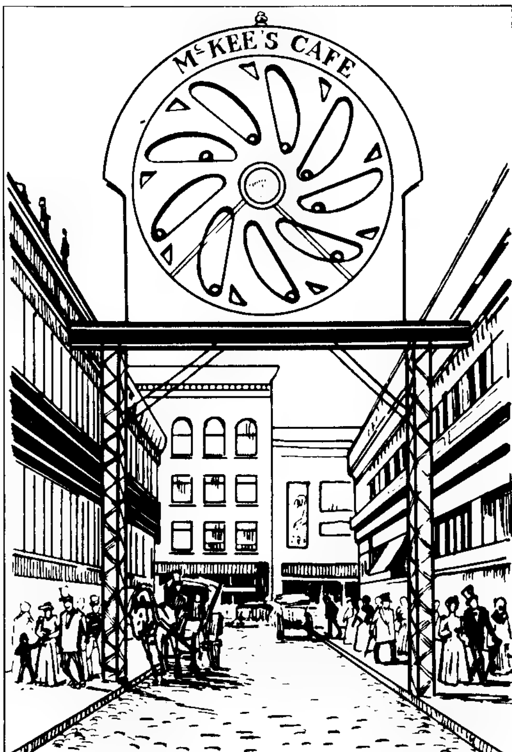


आ. ४५ या ' निरंतर गती 'च्या यंत्रात, गोळे कप्प्यांमध्ये घरंगळत जातात.

यंत्र पाहिलेत का?" मी विद्यार्थ्यांना विचारले.

"पाहिले, पण ते झाकून ठेवले होते." काहीसे खजील होऊन त्यांच्यापैकी एकाने उत्तर दिले.

या घटनेने त्यांना ऊर्जेचे अविनाशित्व हा सिद्धान्त पुरेपूर पटला आणि



आ. ४६ लॉस एंजल्स येथील एका हॉटेलच्या जाहिरातीसाठी वापरले गेलेले "निरंतर गती"चे चक्र.

मग मात्र परत कधीही त्यांचा विश्वास ढळला नाही.

"आकस्मिक विघ्न"

अनेक डोकेबाज रशियन संशोधकांनी "निरंतर गती"चा ध्यास घेतला होता. उपहासात्मक लेखनासाठी प्रसिद्ध असणाऱ्या साल्तीकोव शेद्रिन या १९ व्या शतकातील रशियन लेखकाने आपल्या **"आधुनिक रमण-काव्य"** या पुस्तकात अशाच एका शोधकाचे वर्णन केले आहे. या शोधकाचे खरे नाव अलेक्झांदर स्केग्लोव असले तरी लेखकाने प्रेजेंतोव या नावाने त्याचा उल्लेख केला आहे. या शोधकाच्या कार्यशालेस दिलेल्या भेटीचे वर्णन पुढील-प्रमाणे :

"प्रेजेंतोव सुमारे ३५ वर्षांचा असून त्याचा चेहरा काहीसा रोड व फिक्कट होता. त्याचे मोठाले डोळे मनाची खिन्नता दाखवत. भल्या मोठ्या केसांच्या बटा मानेवर रूळत होत्या. त्याच्या घराचा अधिकाधिक भाग एका मोठ्या आकाराच्या जड चाकाने व्यापला होता व त्यामुळे आम्ही कसेबसे आत शिरलो. ते चक्र आरेयुक्त असून त्याची बाहेरील बाजू रुंद व खोक्या-प्रमाणे बनविली होती. हा खोका आतून रिकामाच होता. एकंदरीत, लबाडी अशी दिसत नव्हतीच. वाळूच्या थैल्या त्या खोक्यात एकमेकास तोलण्यासाठी ठेवल्या होत्या. आऱ्यांमध्ये एक लाकडी दांडा अडकवून चाकाचे फिरणे बंद ठेवले होते.

"निरंतर गतीच्या नियमाला आपण प्रत्यक्षात साकार करणार आहात असे आमच्या ऐकण्यात आले आहे, खरे ना" मी सुरुवात केली.

"काय सांगायचे, पाहूया कसे काय जमते ते..." काहीशा गोंधळ-लेल्या मनःस्थितीत प्रेंजेतोव उत्तरला. "पण मला वाटते की हे यंत्र मी योग्य प्रकारे केले असावे."

"आम्ही पाहू का?"

"अवश्य. त्यात मला आनंदच वाटेल."

त्याने आम्हाला चाकापाशी नेले आणि ते मागूनपुढून दाखविले. दोन्ही बाजूंनी चाक तर व्यवस्थित होते.

"हे फिरत असेल, नाही?"

"हो तर. फिरावयास तर हवेच. पण ते जरा लहरी आहे म्हणाना."

"तर मग तो आऱ्यात अडकविलेला दांडा जरा काढाना..."

प्रेजेंतोवने तो काढला खरा, पण चाक स्तब्धच होते.

"बेट्याची लहर फिरलेली दिसते", प्रेजेतोव काहीसा त्रस्त होऊन म्हणाला. "त्याला धक्का हवा बहुतेक."

त्याने चाकाची खोक्यासारखी कड दोन्ही हातांनी घट्ट धरली आणि सारी शक्ती लावून ते मागेपुढे याप्रमाणे अनेकदा हालविले. त्यामुळे चाक फिरू लागले. त्याने सफाईदारपणे व वेगाने अनेक फेऱ्या केल्या. परिघावरील खोक्यांमध्ये वाळूच्या थैल्या घसरत होत्या व कडेस धडकत होत्या. थोड्याच वेळात चाकाचा वेग मंद होत गेला, ते हळूहळू फिरू लागले व अखेर पूर्ण-पणे थांबले.

"काहीतरी आकस्मिक विघ्न आलेले दिसते." प्रेजेंतोवने खुलासा केला आणि चाकाला परत गती दिली. पण पूर्वीसारखाच प्रकार घडला.

"घर्षणाचा परिणाम तर लक्षात घेण्यास विसरला नाहीत ना?"

"छे, छे, तसे मुळीच नाही. घर्षणाचा येथे प्रश्नच उद्‌भवत नाही. तसा संबंधच नाही. खरा प्रकार असा आहे की, कधीकधी जणू त्याच्या अंगात येते, नाहीतर सुरळीत फिरते, बहुधा मोडीतल्या साधनसामग्रीपासून बनवि-ल्याचा हा परिणाम असावा! अस्सल सामान वापरावयास हवे होते..."

खरे पाहता, "आकस्मिक विघ्न" किंवा "मोडीतल्या साधनसामग्रीचा" कोणताच संबंध नव्हता. मुळातच जर चुकीचे तत्त्व वापरण्यात आले होते तर त्याला कोण काय करणार? शोधकाने दिलेल्या धक्क्यामुळे (म्हणजेच पुरवि-लेल्या ऊर्जेमुळे) काही वेळ चाक फिरले खरे, पण घर्षणजन्य प्रतिरोधाविरुद्ध ती शक्ती खर्च होताचक्षणी चाक थांबलेच पाहिजे.

"ते तर सारे गोळ्यांचे काम!"

कॅरोनिन या टोपणनावाने लिहिणाऱ्या एन. यी. पट्रोपावलोस्की याने "पर्मेटम मोबाईल" नामक एक कथा लिहिली आहे. त्यामध्ये अशाच एका दुसऱ्या शोधकाबद्दल सांगितले आहे. लॅव्ह्रेंटी गोल्डिरेव हा पर्म नामक प्रांतात राहणारा एक शेतकरी होता. तो १८८४ मध्ये मरण पावला. कथेमध्ये त्याचा पिख् टिन म्हणून उल्लेख असून त्याच्या निरंतर गतीयंत्राचे सविस्तर वर्णन करण्यात आले आहे.

"आमच्यापुढे एक प्रचंड यंत्र उभे होते व ते तुळया व खांबांवर आधारलेले होते. ठिकठिकाणी अनेक जडचक्रे व दातेरी चक्रे लावलेली दिसत होती. एकूण सारे स्वरूप मोठे गुंतागुंतीचे व ओबडधोबड होते. यंत्राखाली लोखंडी गोळे पडले होते. जवळच त्यांचा ढिगाराही पडला होता."

"हेच का ते यंत्र?" एकाने विचारणा केली

"हो."

"ते फिरते का?"

"का नाही फिरणार!"

"त्यासाठी घोडा वगैरे वापरता का"

"घोडा? छे, छे. त्याची काय जरुरी आहे? ते आपणहूनच फिरते." असे म्हणून पिखटिन त्या राक्षसी यंत्राकडे वळला. एक गोळा उचलून तो म्हणाला, "ते तर सारे गोळ्यांचे काम!" पुढे तो म्हणाला, "प्रथम गोळे या जागेत पडतात. मग खाचेतून वर जातात. असे पुढे पुढे जात चाकावर एवढ्या जोराने आदळतात की चाक फिरू लागते. थांबा, मी ते सुरूच करतो."

एकामागोमाग एक याप्रमाणे ते लोखंडी गोळे पिखटिन धडाधड खाचां-मध्ये टाकू लागला. त्या धडधडीने व खांबातुळयांच्या करकरीमुळे भोवतालचे वातावरण निनादून गेले.

कॅरोनिन पुढे लिहितो की, गोल्डिरेवचे चाक फिरू लागले खरे, पण ती शुद्ध थाप होती. वर उचलल्या जात असणाऱ्या गोळ्यांना स्थितिज ऊर्जा प्राप्त होत होती व ते खाली पडून धक्का बसे. तेवढ्यापुरतेच चाक फिरत असे. लंबकाच्या घड्याळाच्या वजनांप्रमाणेच हा प्रकार होता. सर्व गोळे उचलले जाऊन त्यांचा धक्का बसेपावेतोच चाक फिरणार. तसेच, उचलल्या जाणाऱ्या साऱ्या गोळ्यांचा उलट परिणाम न होईपर्यंतच ते फिरते राहील.

पुढे येकाटेरिंबर्ग येथील प्रदर्शनात हा प्रयोग फसल्यामुळे गोल्डिरेवची फारच निराशा झाली. तेथे त्यास उद्योगक्षेत्रातील अनेक उपयुक्त यंत्रसामग्री पाहावयास मिळाली. जेव्हा त्यास त्याच्या निरंतर गतीयंत्राबाबत विचारण्यात आले तेव्हा तो रागाने म्हणाला, "सैतानाने खो घातला झाले. आता ती लाकडे जळणासाठी वापर म्हणावे."

उफ़िमत्सेवचा संचालक

निरंतर गतीच्या प्रच्छन्न सापळ्यात वरवर विचार करणारा कसा सापडतो याचे उत्कृष्ट उदाहरण म्हणून उफिमत्सेवचा "शोध" सांगता येईल. हे यंत्र म्हणजे गती-ऊर्जेचा एक तथाकथित संचायक म्हणविणारी पवनचक्की होती व तीमध्ये जडचक्रासारखा "जडत्व संचायक" होता. एका आवरणात (पेटीमध्ये) गोलक धारण्यांचे साहाय्याने एक दांडी उभी करण्यात आली होती. तीभोवती हे चकतीसदृश यंत्र फिरत असे. दर मिनिटास २०,००० फेरे याप्रमाणे वेग मिळाला की ते १५ दिवस फिरत राही. वरवर पाहणाऱ्यास मात्र, निरंतर गती असणारे यंत्र प्रत्यक्ष पहावयास मिळत आहे असेच वाटे.

"चमत्कार, पण चमत्कार नव्हेच नव्हे"

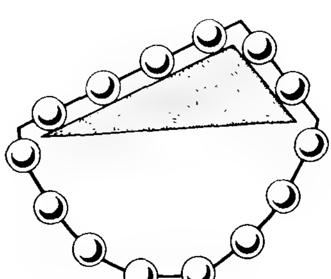
"निरंतर गती"चे यंत्र शोधण्याच्या निरर्थक प्रयत्नांपायी अनेकांचे जीवन

काळवंडून गेले. मला असा एक कामगार माहीत आहे की, ज्याने होता नव्हता तेवढा आपला सारा पैसा या हव्यासापायी खर्च केला आणि शेवटी त्यास दारिद्र्यात जीवन कंठावे लागले. तरी पण त्याचे वेड नखभरसुद्धा कमी झाले नाही. भौतिकशास्त्राच्या मूलभूत तत्त्वांकडे दुर्लक्ष हे त्याच्या हालअपेष्टांचे कारण पाहून अतिशय कीव आली.

एक कुतूहलजन्य वस्तुस्थिती अशी पाहावयास मिळते की, 'निरंतर गती'च्या यंत्रांचा शोध लावण्याचे प्रयत्न नेहमीच निष्फळ ठरले. आणि त्यामुळे अशा प्रकारच्या यंत्रांची निर्मिती करण्याची अजिबात शक्यता नाही याची तीव्र जाणीवही झाली. पण त्यातूनच काही मौलिक शोधांनाही चालना मिळाली.

याचे एक उत्कृष्ट उदाहरण म्हणजे स्टेव्हिन या डच शास्त्रज्ञाचे असून तो १६ व्या शतकाचे अखेरीस होऊन गेला. कलत्या अथवा उतरत्या पातळीवर कार्य करणाऱ्या प्रेरणांचा संतुलन-नियम त्याने शोधला. या शोधासाठी त्याला मिळालेल्या कीर्तीपेक्षा खरे तर कितीतरी अधिक मानसन्मान मिळावयास हवा होता. दैनंदिन जीवनामध्ये वापरले जाणारे त्याचे काही शोध म्हणजे दशांश-अपूर्णांक; बीजगणितातील छेदाचा वापर तसेच द्रवस्थितिकी नियमांची सिद्धता—ज्याचा पुढे पास्कलने पुनर्शोध लावला.

प्रेरणांच्या समांतरभुज चौकोनाच्या नियमांची मदत न घेता स्टेव्हिनने कलत्या पातळीवरील प्रेरणांचा संतुलन-नियम शोधला. ज्या आकृतीच्या सहाय्याने त्याने तो सिद्ध केला ती, आकृती ४७ मध्ये दाखविण्यात आली आहे. एका तिहेरी लोलकाभोवती एकसारख्या गोळ्यांची साखळी अडकविलेली आहे. खालचा भाग हारासारखा लोंबता असून दिसतो त्याप्रमाणे संतुलन स्थितीत आहे. पण इतर दोन भाग एकमेकास तोलतात काय? म्हणजेच, उजवीकडचे दोन गोळे डावीकडच्या चार गोळ्यांची बरोबरी करतात काय? याचे उत्तर "होय" असेच आहे. अन्यथा, जे गोळे खाली घसरतील त्याची



आ. ४७ "एक चमत्कार! पण चमत्कार नव्हेच नव्हे."

जागा इतर गोळे येतील; साखळी आपणहून उजवीकडून डावीकडे कायमची फिरत राहील आणि संतुलन कधीच प्रस्थापित होणार नाही. पण आपणाला हे ठाऊकच आहे की, अशा प्रकारे ठेवलेली साखळी स्वतःहून कधीच हालणार नाही. यावरून उघडच होते की, उजवीकडचे दोन गोळे डावीकडच्या चार गोळ्यांची खरोखरीच बरोबरी करतात.

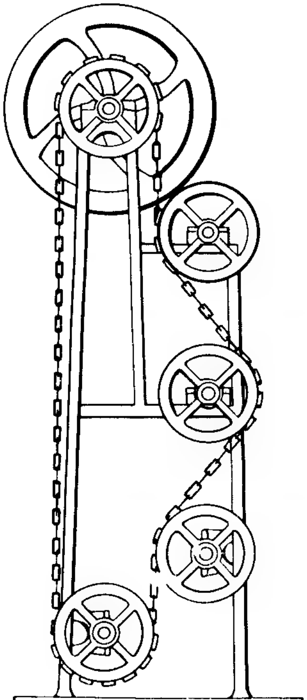
हा एक चमत्कारच म्हटला पाहिजे. दोन गोळ्यांचे बल चार गोळ्यांएवढे असावे ? होय ! या वस्तुस्थितीमुळे स्टेव्हिनला यंत्रशास्त्रातील एक महत्त्वपूर्ण सिद्धांत प्रस्थापित करता आला. पुढीलप्रमाणे त्याने या सिद्धांताची मीमांसा केली आहे. साखळीच्या मोठ्या आणि लहान भागाचे वजन भिन्न असून, लोलकाची लांब बाजू लहान बाजूच्या जेवढ्या पटीने मोठी, तेवढ्याच पटीत एक वजन दुसऱ्यापेक्षा अधिक वजनदार भरते. यावरून उघडच होते की, वजने जर पातळीच्या लांबीच्या प्रमाणात असतील तर अशी कोणतीही साखळीबद्ध दोन वजने कलत्या पातळीवर एकमेकास तोलतील.

जेव्हा लघुपातळी सरळ उभ्या स्थितीत असेल तेव्हा यंत्रशास्त्रातील पुढील सुप्रसिद्ध सिद्धांत पहावयास मिळतो. वस्तु कलत्या पातळीवर आहे तेथेच राहण्यासाठी या पातळीच्या दिशेने एका विशिष्ट बलाने आपणास कार्य करावयास हवे. हे बल किती असावयास हवे ? तर पातळीची लांबी तिच्या उंचीपेक्षा जितकी पट अधिक तेवढ्याच पटीने वस्तूच्या वजनापेक्षा ते कमी हवे. अशा रीतीने, "निरंतर गती"च्या अशक्य कल्पनेतून, यंत्रशास्त्रातील महत्त्वपूर्ण सिद्धांताचा जन्म झाला.

आणखी काही "निरंतर गतीयंत्रे"

आकृती ४८ मध्ये चाकाभोवती एक वजनदार साखळी गुंफलेली दिसत आहे. ती अशा प्रकारे अडकविलेली आहे की, कोणत्याही स्थितीत साखळीचा उजवीकडचा भाग हा डावीकडच्या भागापेक्षा नेहमीच जास्त लांबीचा भरेल. शोधकाने असा विचार केला की, उजवीकडचा भाग, डावीकडच्या भागापेक्षा नेहमीच जास्त लांबीचा असल्यामुळे तो ही सारी यंत्रणा फिरती ठेवील. प्रत्यक्षात तसे घडेल काय ? अर्थातच नाही. आपणाला माहीत झालेच आहे की या दोन भागांना ओढणाऱ्या प्रेरणा जर वेगवेगळ्या कोनांमधून कार्य करणाऱ्या असतील तर कमी वजनदार भाग जड भागाची बरोबरी करतो. या विशिष्ट रचनेत, डावीकडचा भाग उभ्या स्थितीत खाली आलेला असून उजवीकडचा भाग कललेला आहे. तेव्हा जरी तो वजनदार असला तरी तो डाव्या भागास खेचू शकत नाही आणि अपेक्षित "निरंतर गती" साध्य होऊ शकत नाही.

माझ्या मते, निरंतर गतीयंत्राचे मोठ्या अक्कलहुषारीने सादर केलेले उदाहरण म्हणजे १८६० सालच्या पॅरिस येथील प्रदर्शनातील यंत्र होय. हे यंत्र म्हणजे एक भले मोठे चाक असून त्यावरील कप्प्यात मोठाले घसरणारे गोळे होते. हे चाक कुणालाच थांबविता येणार नाही अशी आव्हानवजा जाहिरात करण्यात आली होती. अनेक प्रेक्षकांनी ते थांबविण्याचा प्रयत्न केला, पण हात दूर होताच त्याचे फिरणे चालू राही. तथापि, कोणाच्याही ध्यानात आले नाही की, चाक थांबविण्याच्या प्रयत्नामुळेच ते फिरते राही.



आ. ४८ हे "निरंतर गतीचे" यंत्र असावे का?

त थांबविण्यासाठी उलट दिशेने जो जोर लावला जाई त्यामुळे, मोठ्या धूर्तपणे लपविलेल्या यंत्रणेतील स्प्रिंग गुंडाळली जाई.

"पीटर दि ग्रेट" ला हवे असलेले "निरंतर गती" चे यंत्र

जर्मनीच्या मंत्रिमंडळातील ऑर्फिरेउस नामक एका सभासदाने "निरंतर गती"चे एक यंत्र तयार केले होते आणि पीटर दि ग्रेट ते विकत घेऊ इच्छित होता. या यंत्राचे "शोधा"मुळे ऑर्फिरेउसला साऱ्या देशभर अमाप प्रसिद्धी मिळाली होती. १७१५ ते १७२२ या काळात त्याचेशी झालेला झारचा पत्रव्यवहार दप्तरखान्यात जपून ठेवलेला आढळतो. आपल्या शूमेकर नामक ग्रंथपालास झारने या यंत्राबाबत बोलणी करण्यास धाडले होते. १००,००० थेलर्स मिळाल्यास आपण आपले यंत्र विकण्यास तयार आहोत असे ऑर्फिरेउसने झारला कळविले.

शूमेकरला ऑर्फिरेउसने प्रतिज्ञापूर्वक सांगितले की, यंत्रामध्ये कोणतीही लबाडी नाही. जर बदनामीकारक खरेखोटे ऐकू आलेच तर ते केवळ द्वेषापोटी असणार. कारण "हे जग मत्सरी व कपटी लोकांनी भरलेले असून शहाणा माणूस त्यांच्यावर कधीच विश्वास ठेवणार नाही."

१७२५ मध्ये, स्वत: जर्मनीत जाऊन ते यंत्र प्रत्यक्ष पहावे असे झारने ठरविले खरे, पण त्याअगोदरच तो मृत्यू पावला.

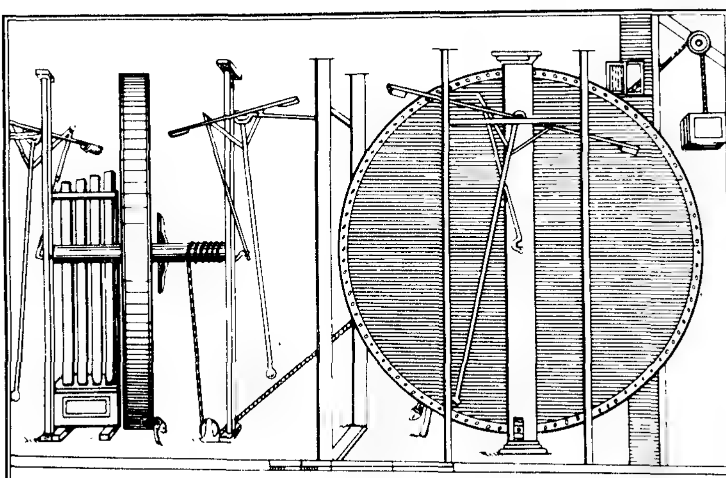
ही ऑर्फिरेउस नामक कोण गूढ व्यक्ती होती आणि बोलबाला झालेले त्याचे यंत्र खरोखरीच कशा स्वरूपाचे होते? खुद्द ऑर्फिरेउस व त्याच्या यंत्राबद्दल मला जी काही माहिती मिळाली ती पुढीलप्रमाणे.

ऑर्फिरेउसचे खरे नाव बेस्लर असे होते. तो १६८० मध्ये जर्मनीत जन्मला. निरंतर गतीयंत्र तयार करण्याचे पूर्वी त्याने धर्मशास्त्र, वैद्यकीय आणि चित्रकलेचे शिक्षण घेतले होते. ज्या हजारो लोकांनी अशा प्रकारचे यंत्र तयार करण्याचा प्रयत्न केला होता, त्या सर्वांमध्ये बहुधा ऑर्फिरेउसच सर्वात भाग्यवान व अत्याधिक प्रसिद्ध पावलेला असावा. या "शोधा"मुळे त्यास एवढा पैसा मिळाला की, जीवनभर तो मोठ्या ऐषारामात राहिला. १७१४ मध्ये तयार केल्या गेलेल्या यंत्राची एका जुन्या पुस्तकात जी आकृती प्रसिद्ध झाली होती ती जशीच्या तशी आ. ४९ मध्ये देण्यात आली आहे. त्यामध्ये एक मोठे चाक दिसत असून वरवर पाहता ते वजनदार वस्तूही बऱ्याच उंचीवर खेचणारे आहे असे दिसते.

सुरुवातीस निरनिराळ्या प्रदर्शनांमध्ये हे यंत्र प्रदर्शित केले गेले आणि साऱ्या जर्मनीभर त्यास तात्काळ प्रसिद्धी मिळत गेली. थोड्याच दिवसांत

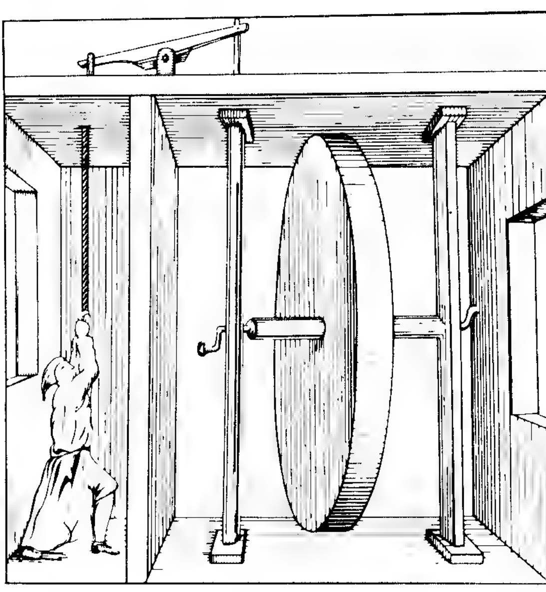
अनेक श्रीमंत व दानशूर व्यक्तींनी ऑर्फिरेउसला हार्दिक व आर्थिक पाठिंबा दिला. पोलंडच्या राजाने या यंत्राबाबत मोठीच उत्सुकता दाखविली. हेस्-कॅसेलच्या लँडग्रेव्हने ऑर्फिरेउसला मोठे उत्तेजन तर दिलेच; पण यंत्राच्या सर्वप्रकारच्या चाचण्यांसाठी आपला राजवाडाच त्याचेकडे सुपूर्त केला.

१२ नोव्हेंबर १७१७ रोजी पूर्णतया अलग अशा खोलीत यंत्र ठेवून ते सुरू करण्यात आले. खोलीला कुलूप लावून ती सीलबंद केली गेली आणि पाहऱ्यावर दोन धिप्पाड शिपाई नेमले गेले. एक पंधरवडाभर म्हणजे २६ नोव्हेंबर रोजी सील तोडेपर्यंत खोलीच्या जवळपास येण्याची कोणाचीच छाती झाली नाही. खोली उघडली गेली व लवाजम्यासह लँडग्रेव्हने आत प्रवेश केला. चाक वेगात घट न येता चालूच होते! मग ते थांबविण्यात आले,



आ. ४९ पीटर दि ग्रेट विकत घेऊ इच्छिणारे आरफिरिअसचे स्वतःहून फिरणारे चाक. (एका जुन्या चित्रावरून.)

त्याची कसून तपासणी करून ते पुन्हा चालू केले गेले. आता ४० दिवसांसाठी खोलीस सील ठोकले गेले व नंतर ४ जानेवारी १७१८ रोजी ती उघडली गेली. तज्ज्ञांच्या एका पथकाने खोलीत प्रवेश केला; त्यांना चाक फिरतच असल्याचे आढळले. तथापि, लँडग्रेव्हचे पूर्ण समाधान झाले नाही व त्याने तिसऱ्यांदा चाचणी घेण्याचे ठरविले. यावेळी सतत दोन महिने ते कुलूपबंद खोलीत ठेवले गेले. याही वेळेस चाक फिरताना दृष्टोत्पत्तीस आल्यावर मात्र लँडग्रेव्ह खूष झाला. त्याने ऑर्फिरेउसला मोठ्या सन्मानपूर्वक एक प्रशस्तीपत्रक दिले. त्यात म्हटले होते की, "या शोधकाचे निरंतर गतीयंत्र मिनिटास ४० फेरे करते आणि १६ कि. ग्रॅ. वजन १.५ मीटर उंचीपर्यंत खेचते. याबरोबरच ते घर्षणयंत्राच्या कामासाठी व भाता खेचण्यासाठीही उपयुक्त आहे." एकदा हे शिफारसपत्र हातात पडल्यावर ऑर्फिरेउसचा आनंद गगनात मावेनासा झाला. त्याने साऱ्या युरोपभर दौरा केला आणि मोठमोठ्या रकमा व मानसन्मान खिशात घातले. त्या आधारेच त्याने पीटर दि ग्रेटकडे १००,००० रूबलची मागणी केली.



आ. ५० आर्फिरिअसच्या यंत्रामागील रहस्य.
(एका जुन्या चित्रावरून.)

निरनिराळ्या दुर्मिळ, पुरातन व चमत्कृतिजन्य वस्तूंचा तसेच यांत्रिक उपकरणांचा संग्रह करणे हा पीटर दि ग्रेटचा छंदच होता. या वेडापायीच ऑफिरेउसचे यंत्र कसे मिळविता येईल या विचाराने तो बेचैन झाला. १७१५ मध्ये युरोपच्या प्रवासावर असताना या विचाराने परत उचल घेतली आणि ए. आय. ऑस्टरमन या आपल्या निष्णात अधिकाऱ्यास यंत्राची तपासणी व त्याबाबत बोलणी करण्यास त्याने सांगितले. ऑस्टरमनला स्वतःस जरी ते यंत्र पाहण्यास मिळाले नाही तरी त्याने त्याबाबत एक सविस्तर व चिकित्सक अहवाल तयार केला व झारकडे पाठवून दिला. झारने असेही ठरविले की, एक सुप्रसिद्ध संशोधक या नात्याने ऑफिरेउसला दरबारात येण्याचे निमंत्रण द्यावे आणि सन्मानपूर्वक त्यास आपल्या पदरी ठेवावे. त्यासाठी झारने ख्रिस्तीयन वोल्फ या सुप्रसिद्ध तत्त्ववेत्त्याचे मत मागविले.

ऑफिरेउसला एकामागोमाग एक अशा वाढत्या मागण्या येत होत्या. राजेमहाराजांकडून त्यास औदार्यपूर्वक पारितोषिके बहाल केली गेली. त्याच्या आश्चर्यकारक यंत्रावर कविजनांनी आपली काव्यसुमने वाहिली. याबरोबरच काही लोक त्यास ढोंगी समजणारे निघाले. काहींनी ऑफिरेउसला आव्हानच दिले आणि एकाने तर त्याचा ढोंगीपणा सिद्ध करणाऱ्यास १००० मार्कचे बक्षिसही जाहीर केले. एका प्रतिस्पर्ध्याने यंत्राचे चित्र प्रसिद्ध करून त्यामागचे साधेसुधे रहस्य उघडकीस आणले. त्यामध्ये आसाभोवती गुंडाळलेला दोर एक माणूस ओढत आहे असे दाखविले आहे (आ. ५० पहा). आसाचा हा भाग चाकास आधार देणाऱ्या खांबात मोठ्या खुबीने लपविला होता आणि दोर ओढणारा माणूसही तेवढ्याच हुशारीने दडवून ठेवण्यात येत असे.

अगदी सुरुवातीपासूनच ऑफिरेउसची पत्नी व एक नोकर या लबाडीत सामील झाले होते, पण त्यांच्याशी बिनसल्यामुळेच ती सारी उघडकीस आली. अन्यथा, आपण निव्वळ तर्कच तर्क करीत बसलो असतो. असे दिसून येते की, गुप्तपणे लपलेल्या नोकरामार्फत किंवा ऑफिरेउसच्या भावामार्फत दोरी खेचून ते यंत्र फिरविले जात असे. एवढे सारे उघडकीस आले तरीही ऑफिरेउस आपलेच म्हणणे खरे असल्याचा कांगावा करीतच होता. बायको व नोकर केवळ द्वेषापोटी आपली बदनामी करीत आहेत असे तो अगदी मृत्यूशय्येवर असतानादेखील साऱ्यांना सांगत असे. पण लोकांचा आता विश्वास उडाला होता. शूमेकर या झारच्या प्रतिनिधीस सुद्धा त्याने पुन्हा पुन्हा बजाविले की, "हे जग दुष्ट व मत्सरी लोकांनी भरलेले आहे!"

याच सुमारास निरंतर गतीयंत्र शोधणारा हर्टनर नामक एक संशोधक जर्मनीत होऊन गेला. त्याच्या फसवेगिरीबाबत शूमेकर लिहितो, "ड्रेस्डेनमध्ये मला हर्टनरचे यंत्र पहावयास मिळाले. त्यामध्ये वाळूने भरलेल्या थैल्या

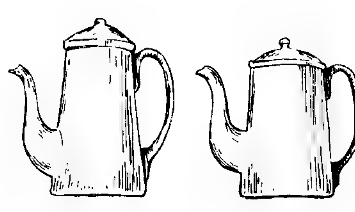
होत्या. दिसण्यात ते घर्षणयंत्रासारखे होते व मागेपुढे फिरे. तथापि, हे यंत्र आहे त्यापेक्षा मोठ्या आकारात करता येणार नाही असे शोधकाचे म्हणणे पडले." हे यंत्रसुद्धा निरंतर गतीचे नव्हतेच. त्याची उभारणी मोठ्या अक्कल-हुषारीने करण्यात आली होती व तेवढ्याच धूर्तपणे लपविलेल्या यंत्रणेमार्फत किंवा माणसामार्फत ते फिरते केले होते, त्यामागे निरंतर गती मुळीच नव्हती. पीटर दी ग्रेटला लिहिलेल्या पत्रात शूमेकरने लिहिले आहे की, "अशी **निरंतर गतीयंत्रे** गणिताच्या तत्त्वांशी सर्वस्वी विसंगत असल्याचे फ्रेंच व जर्मन विद्वान सांगतात व त्याची भरपूर थट्टाच करतात." शूमेकरचे हे विचार खरोखरीच सार्थ ठरतात

प्रकरण ५ वे

द्रव आणि वायुरूप पदार्थांचे गुणधर्म

दोन कॉफी-पात्रे

आकृती ५१ मध्ये सारख्याच रुंदीची दोन कॉफी-पात्रे दाखविली आहेत. मात्र एक दुसऱ्यापेक्षा थोड्या अधिक उंचीचे आहे. तर मग सांगा की कोणत्या पात्रात अधिक कॉफी (किंवा इतर द्रवपदार्थ) मावेल? घाईगर्दीने आपण बहुदा असेच म्हणाल की, उंच पात्रात जास्त कॉफी मावेल. पण हे लक्षात घ्या की पात्राच्या चोचीच्या पातळीपर्यंतच आपण ती भरू शकतो. जास्त भरल्यास द्रवपदार्थ चोचीतून वाहून जाईल. तसेच, ही दोन पात्रे समान पातळीवर ठेवलेली असल्यामुळे मोठ्या पात्रात जेवढा द्रव मावेल तेवढाच लहान पात्रात मावेल. याचे कारण सहज ध्यानात येईल. कॉफी-पात्र व चोच म्हणजे एकमेकांना जोडली गेलेली दोन पात्रेच असून त्या दोहोतील द्रवाची पातळी समानच राहील. हे खरे की, चोचीत मावणाऱ्या द्रवाचे वजन, पात्रातील द्रवाच्या वजनाच्या मानाने खूपच कमी असते. तरीसुद्धा द्रवाच्या पातळीत फरक पडत नाही, ती सारखीच असावयास हवी. चोच जोपर्यंत भरपूर उंचीची नाही तोपर्यंत कॉफी-पात्र अगदी वरपर्यंत भरताच येणार नाही. तसे करू पाहिल्यास द्रव चोचीतून वाहून जाईल. चोचीची उंची नेहमीच

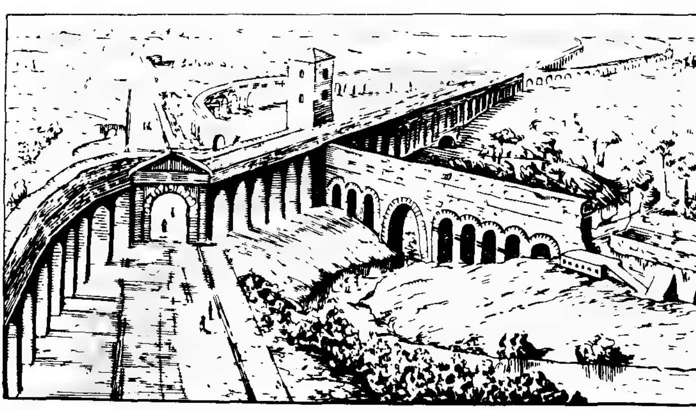


आ. ५१ कोणत्या कॉफी-पात्रात जास्त कॉफी मावेल?

जास्त ठेवलेली असते. त्यामुळे कॉफी न सांडताही पात्र कलते करता येते.

पूर्वीच्या लोकांचे अज्ञान

प्राचीन काळच्या रोमन लोकांनी बांधलेले जलमार्ग आजही वापरात आहेत. त्यांच्या गुलामांनी हे बांधकाम उत्तम प्रकारे केले यात शंका नाही, पण रोमन इंजिनियरांबाबत मात्र तसे म्हणता येत नाही. भौतिकशास्त्राचे त्यांचे प्राथमिक ज्ञान फारच तोकडे होते, असेच म्हणावे लागते, अशा जल-मार्गाचे एक चित्र म्युनिक (प. जर्मनी) येथील वस्तुसंग्रहालयात असून आ. ५२ मध्ये ते आपणास पहावयास मिळेल. या चित्रावरून ध्यानात येईल की, जलवितरणाचे मार्ग जमिनीखालून न नेता उंच बांधकामाचा आधार देऊन ते खूप उंचावरून नेलेले आहेत. आजच्या प्रमाणे जमिनीखालून नळ टाकणे सोपे नाही का ? तथापि, एकमेकांना जोडण्यात येणाऱ्या पात्रांबाबत जे नियम आहेत त्यासंबंधी रोमन लोकांच्या मोठ्या विचित्र कल्पना होत्या. त्यांना अशी भीती वाटे की, लांबलचक नळांनी जोडल्या जाणाऱ्या दोन टाक्यांमध्ये पाणी कदाचित सारख्याच पातळीपर्यंत चढणार नाही. शिवाय जमिनीत जर नळ टाकले आणि ते नैसर्गिक चढउताराप्रमाणे राहिले तर काही ठिकाणी पाण्यास उंच बाजूकडे वाहणे भाग पडेल. तसे होणार नाही अशीच काहीशी त्यांना भीती वाटली. म्हणूनच, त्यांचे उंचावरून नेलेले जलमार्ग शेवटपर्यंत उतरते आढळतात. पुष्कळदा त्यांना नाहक मोठमोठे वळसे



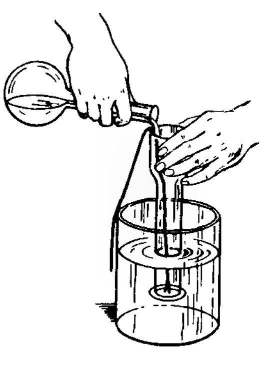
आ. ५२ प्राचीन रोममधले जलसेतू.

घालूनच हे मार्ग नेणे भाग पडले, व त्यासाठी जरूर त्या ठिकाणी उंच कमानी उभारून आधार द्यावे लागले आहेत. अॅक्वा मार्शिया नामक त्यांचा एक जलमार्ग १०० कि. मी. लांबीचा भरतो, पण त्याच्या दोन बिंदूतील प्रत्यक्ष अंतर निम्मेच भरते. भौतिकशास्त्रातील प्राथमिक नियमांच्या केवळ अज्ञानामुळे त्यांना ५० कि. मी. चे बांधकाम नाहकच करावे लागले.

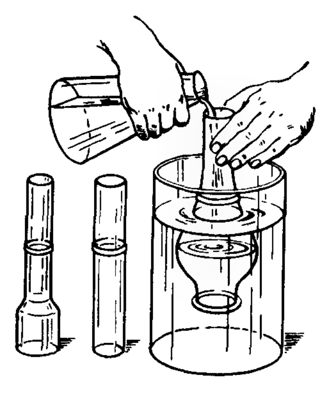
द्रव पदार्थ दाब देतात . . . ऊर्ध्वदिशेने !

भौतिकशास्त्राचा ज्यांनी कधीच अभ्यास केलेला नाही त्यांनासुद्धा ठाऊक असेल की, द्रवपदार्थ भांड्याच्या तळावर व बाजूंवर दाब देतात. परंतु, द्रवपदार्थ वरच्या दिशेनेही दाब देतात याची अनेकांना पुसटशी शंका-देखील येत नसेल. काचेची रुंद नळी किंवा दिव्याची लांबट आकाराची काच वापरून याचा पडताळा पाहता येईल. नळीच्या तोंडापेक्षा मोठ्या आकाराची पुठ्ठ्याची जाड चकती कापा आणि ती नळीच्या तोंडावर ठेऊन आ. ५३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे दुसऱ्या मोठ्या पात्रातील पाण्यात बुडवा. चकती सरकू नये म्हणून तीस दोरा बांधून ओढून धरा किंवा बोटाने आधार द्या. नळी चकतीसह निम्मीअधिक पाण्यात बुडविल्यानंतर दोरा किंवा बोट काढून घ्या. चकती जागच्या जागीच राहील, कारण पाण्याचा चकतीवर खालून वर दाब असतो.

ऊर्ध्वदिशेने असणारा हा दाब किती आहे ते सुद्धा हवे तर जाणता



आ. ५३
द्रवपदार्थ ऊर्ध्व दिशेने दाब देतात हे दाखविणारा सोपा प्रयोग.



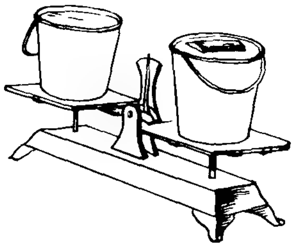
आ. ५४ पात्राच्या तळावर द्रवपदार्थ जो दाब निर्माण करतात तो केवळ तळाचे क्षेत्रफळ आणि द्रवाची उंची यावरच अवलंबून असतो चित्रावरून हे विधान तपासता येईल.

येईल. नळीत थोडेथोडे काळजीपूर्वक पाणी टाकीत रहा. नळीतील पाण्याची उंची पात्रातील पाण्याएवढी होताच चकती सरकून वेगळी होईल. चकतीवर खालून जेवढा दाब बसत होता तेवढाच दाब नळीतील पाण्याच्या स्तंभामुळे वरून मिळताच चकती सरकते. नळी जेवढ्या खोलीपर्यंत पाण्यात बुडविली जाते तेवढीच स्तंभाचीही उंची होते. द्रव पदार्थामुळे बुडविलेल्या वस्तूवर जो दाब दिला जातो त्यासंबंधीचा हा असा नियम आहे. परिणामी, यातूनच आर्किमिडीजचा **सुप्रसिद्ध** सिद्धांत जे सांगतो ते पहावयास मिळते. द्रवामध्ये वजन "घटते" असे आर्किमिडीजचे म्हणणे आहे.

वेगवेगळ्या आकारातील पण तोंडे मात्र सारख्याच मापाची असणाऱ्या काही नळ्या वापरून द्रव पदार्थाशी संबंधित असा आणखी एक नियम पडताळून पाहता येईल. हा नियम असे सांगतो की, भांड्याच्या तळावरील दाब हा तळाचे क्षेत्रफळ व द्रवाच्या स्तंभाची उंची यावरच अवलंबून असतो, भांड्याच्या आकारावर मुळीच नाही. या नियमाचा पडताळा पुढील प्रकारे पाहता येईल. वरील काचेच्या नळ्यांना, त्यांच्या तळापासून एकाच उंचीपाशी कागदाची पट्टी चिकटवून खुणा करा. मघाचीच चकती वापरून प्रत्येक नळी खुणेपर्यंत पाण्यात बुडवा. प्रत्येक नळीत खुणेपर्यंत पाणी ओतताच चकती दूर होईल. म्हणजेच स्तंभाचे आकार जरी वेगवेगळे तरी जोपर्यंत तळ आणि उंची एकसारखीच आहे तोपर्यंत त्याचा दाब समानच असतो. ही गोष्ट लक्षात घेणे आवश्यक आहे की, **"लांबी"** महत्त्वाची नसून **"उंची"च** केवळ महत्त्वाची आहे. उदाहरणार्थ, लांब व **तिरक्या** स्तंभाची उंची आणि आखूड पण सरळ उभ्या स्तंभाची **"उंची"** सारखीच असेल तर दोहोंच्या बाबतीत दाब समानच असणार—अर्थात प्रत्येकाचा तळ एकसारखाच हवा.

कोणते पारडे जड ?

एक भांडे पाण्याने काठोकाठ भरून तराजूच्या एका पात्रात ठेवा. तसेच दुसरे भांडेही **काठोकाठ भरा** व त्यात लाकडाचा छोटासा तुकडा तरंगत ठेऊन ते तराजूच्या दुसऱ्या पात्रात ठेवा. (आ. ५५) या दोहोंपैकी कोणते भांडे अधिक जड असेल ? हा प्रश्न मी अनेकांना विचारला आणि परस्पर विरोधी उत्तरे मिळाली. काहींनी सांगितले की लाकडाचा तुकडा असणारे भांडे जड असणार कारण त्यात पाण्याबरोबरच तुकडाही आहे. तर काही म्हणाले की, निव्वळ पाणी असणारे भांडे अधिक जड, कारण लाकडापेक्षा पाणी जड असते. दोन्हीही उत्तरे बरोबर नाहीत : दोन्ही भांडी **सारख्याच वजनाची** भरतात. हे खरे की, लाकडाच्या तुकड्यामुळे तेवढे कमी पाणी भांड्यात असणार. पण संबंधित नियमानुसार, **प्रत्येक तरंगत्या** पदार्थाच्या बुडलेल्या भागामुळे त्याच्या **एकूण वजनाएवढ्या वजनाचे पाणी** दूर



आ. ५५

दोन्ही पात्रे अगदी काठोकाठ भरलेली आहेत. एका पात्रात लाकडाचा तुकडा आहे; तर मग कोणते पात्र अधिक वजनदार ठरेल ?

सारले जाते. म्हणूनच वरील प्रयोगातील तराजू समतोल राहतो.

आता पुढील प्रयोगातून निर्माण होणाऱ्या प्रश्नाचे उत्तर द्या. एका पेल्यात थोडे पाणी टाकून तो तराजूच्या एका पात्रात ठेवा आणि त्याचेच शेजारी एक वजन ठेवा. दुसऱ्या पात्रात जरूर तेवढी वजने टाकून काटा समतोल करा. मग पेल्याजवळचे वजन पेल्यात टाका. तराजू काय दाखवेल? आर्किमिडीजच्या तत्त्वानुसार, वजन पात्रात ठेवले असता जे काही त्याचे वजन असेल त्यापेक्षा पाण्यात ते कमी झाले पाहिजे.

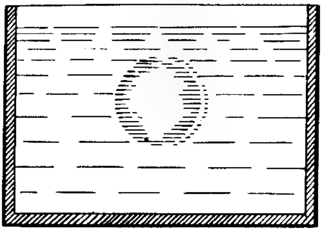
तर मग हे पात्र वर गेले पाहिजे, नाही का ? पण तसे न होता पात्रे समतोलच राहतात. का ? वजन पाण्यात टाकले असता काही पाणी ते दूर सारेल आणि पाण्याची उंची (पातळी) पूर्वीपेक्षा उंचावेल. पेल्याच्या तळावर जो दाब पडत होता त्यात यामुळे भर पडेल. पेल्यातील हा वाढीव दाब घटलेल्या वजनाइतका असतो.

द्रव पदार्थाचा नैसर्गिक आकार

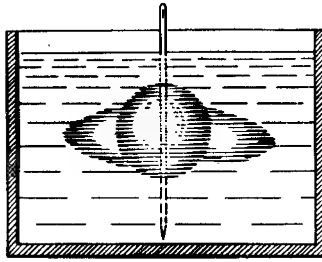
द्रव पदार्थांना त्यांचा **स्वतःचा असा** आकार नसतो अशी आपली समजूत असेल, पण ती खरी नाही.

चेंडूप्रमाणे गोल असा द्रव पदार्थाचा नैसर्गिक आकार असतो खरा, पण गुरूत्व असा नैसर्गिक आकार घेण्यास प्रतिबंध करते. आपण नेहमी पाहतोच की द्रव पदार्थ सांडला तर तो पातळ पापुद्र्यासारखा पसरतो किंवा भांड्यात असेल, तर त्यानुरुप आकार घेतो. पण त्याच्याएवढेच विशिष्ट गुरुत्व असणाऱ्या दुसऱ्या द्रावात जर तो ओतला किंवा बंदिस्त केला, तर, आर्किमिडीजच्या सिद्धांतानुसार त्याचे वजन "घटते", जणू काही तो वजनरहित होतो. मग गुरूत्वाचा त्याच्यावर परिणाम न होता त्यास नैसर्गिक असा गोलाकार प्राप्त होतो.

ऑलिव्ह तेल पाण्यावर तरंगते व स्पिरिटमध्ये बुडते. ही गोष्ट ध्यानात घेता तेल तरंगणारही नाही व बुडणारही नाही असे पाणी व स्पिरिट यांचे मिश्रण करता येईल. या मिश्रणात दोन-चार थेंब तेल टाकल्यास ते गोला-



आ. ५६
पातळ अल्कोहोलमध्ये असणारे तेल, न बुडणाऱ्या व न तरंगणाऱ्या थेंबात जमा होते. (प्लेटथूचा प्रयोग)

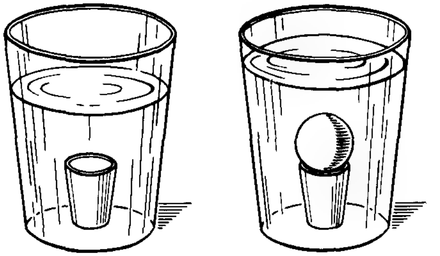


आ. ५७
अल्कोहोलमध्ये असलेला तेलाचा थेंब, काडीने परिवलित केल्यास (फिरविल्यास) वलय तयार होते,

कार बनून मध्येच अधांतरी राहतील. (आ. ५६). हा प्रयोग सपाट बाजूच्या पात्रात केल्यास तेलाचा गोल आकार नीट पाहता येईल. प्रयोग काळजीपूर्वक व सावकाश केला पाहिजे, तरच मोठा गोल तयार होईल, अन्यथा अनेक लहान लहान गोल तयार होतील. पाहिजे तसे घडले नाही तरी नाऊमेद होण्याचे कारण नाही. छोटे गोलसुद्धा प्रयोगातील मर्म सांगून जातील.

या प्रयोगाचा पुढचा टप्पा पाहुया. एक लांब काडी किंवा तार घ्या आणि तेलाच्या गोलामधोमध आरपार खुपसा. मग ती बोटांचे सहाय्याने फिरवा. काडीबरोबर गोलसुद्धा फिरू लागेल. प्रयोग आणखी चांगल्या रीतीने होण्यासाठी काडीला तेलात बुडविलेली पुठठ्याची छोटी चकती बसवा व तीसह गोलात खुपसून फिरवा. फिरता फिरता गोल दाबला जाईल आणि काही सेकंदात त्याचे वलयात रूपांतर होईल (आ. ५७). वलय फुटताच नवे गोल तयार होतील आणि ते मध्यभागी असणाऱ्या गोलाभोवती फिरू लागतील.

हा मोठा शैक्षणिक मूल्य असणारा प्रयोग प्लेटो या बेल्जियन वैज्ञानिकाने करून दाखविला. दुसऱ्या एका पद्धतीने आणि तितकाच परिणामकारण ठरेल अशाही रीतीने तो करता येतो. काचेचा एक छोटा पेला घ्या व तो ऑलिव्ह तेलाने भरा. तो दुसऱ्या एका मोठ्या पेल्यात ठेवा. नंतर छोटा पेला बुडेल एवढे भरपूर स्पिरिट मोठ्या पेल्यात टाका. आता चमच्याच्या सहाय्याने व पेल्याच्या कडेने घरंघळत पडेल अशा बेताने हळूहळू पाणी मिसळा. हे अगदी काळजीपूर्वक करा. छोट्या पेल्यातील तेलाचा पृष्ठभाग फुगत जाईल. जेव्हा पुरेसे पाणी मिसळले जाईल तेव्हा तेल, काहीशा मोठ्या गोलाच्या स्वरूपात पेल्याच्या वर येईल आणि तो गोल पाणी व



आ. ५८
प्लेटयूच्या प्रयोगाची सोपी पद्धत

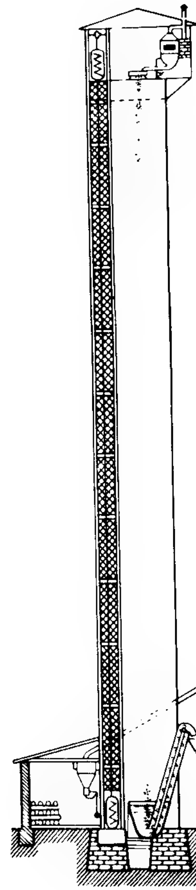
स्पिरिट यांच्या मिश्रणात अधांतरी लटकलेला दिसेल. (आ. ५८).

स्पिरिटऐवजी अॅनिलिन वापरता येईल. हा एक द्रवपदार्थ असून तो सर्वसाधारण तपमानात पाण्यापेक्षा जड पण ७५–८५ अंश से. पर्यंत तापविल्यास पाण्यापेक्षा हलका असतो. पाणी तापवून त्यातील अॅनिलिन हे गोलाच्या स्वरूपात आधांतरी ठेवता येईल. गडद किरमिजी रंगाचा ऑर्थोटोल्युडाइन हा आणखी एक सोयीस्कर द्रवतपदार्थ होय. २४ अंश सें. तपमानात मिठाच्या पाण्याएवढेच त्यांचे विशिष्ट गुरुत्व असते.

बंदुकीची गोळी गोल का ?

यापूर्वी, मी सांगितले आहेच की गुरुत्वाचा परिणाम होईनासा झाला की द्रवपदार्थ चेंडूसारखा गोल आकार घेतात. वजनरहित अवस्थेत पडणाऱ्या वस्तूबाबत पूर्वी मी जे विवेचन केले आहे तेवढे ध्यानात ठेवणे पुरेसे आहे. वस्तू पडण्यास सुरवात होताच जो काही वातावरणाचा प्रतिरोध होतो त्याकडे दुर्लक्ष केले तरी चालेल. (पावसाचे थेंब पडण्यास सुरवात होते तेव्हाच ते प्रवेगित होतात. पहिल्या अर्ध्या सेकंदानंतर त्यांचे पडणे **एकसारखे** होते आणि थेंबाच्या वजनाएवढा वातावरणाचा प्रतिरोध होतो. हा प्रतिरोध थेंबाच्या वाढत्या गतीनुसार वाढत जातो). ही गोष्ट ध्यानात घेता, द्रवाच्या पडत्या भागानेही गोलाकार घेतला पाहिजे.

ही वस्तुस्थिती खरीच आहे. पडणारे जलबिंदू आकाराने गोलच असतात. बंदुकीच्या गोळ्या किंवा छरे म्हणजे दुसरे तिसरे काही नसून घनरूप झालेल्या शिशाच्या गोळ्याच होत. त्या तयार करण्याच्या क्रियेत प्रथम शिसे वितळवून उंचावरून टाकले जाते व खाली ठेवलेल्या पाण्यात अगदी गोलाकारात घनरूप बनतात. शिसे उंच मनोऱ्यातून टाकले जात असल्यामुळे त्यांना "टॉवर शॉट" असेही म्हणतात (आ. ५९). हे मनोरे ४५ मी. उंचीचे



गोळ्या तयार करण्याचा मनोरा आ, ५९

असून त्याच्या वरच्या भागात शिसे वितळविण्याची व ते खाली टाकण्याची सोय केलेली असते. तळाशी पाणी ठेवण्याचे कारण एवढेच की त्यामुळे गोळ्यांच्या आघाताची तीव्रता कमी व्हावी आणि त्याचा गोलाकार बिघडू नये. तयार गोळ्यांची वर्गवारी करून त्यावर काही सोपस्कार केले जातात. वितळलेले शिसे पडता पडताच ते गोल आकार घेते. (६ मि. मी. पेक्षा जास्त व्यासाच्या गोळ्या वेगळ्या प्रकारे तयार केल्या जातात: तारेचे तुकडे तुकडे करून नंतर ते गोलाकारात मळले जातात. त्यांना "कॅनिस्टर शॉट" असे नाव आहे.

"तळ नसणारे" काचपात्र.

एक काचपात्र (उदा. आईसक्रीमचे) घ्या आणि पाण्याने ते अगदी काठोकाठ भरा. काही टाचण्या घ्या. दहा-वीस टाचण्या मावण्याएवढी जागा या गच्च भरलेल्या पात्रात असेल का? प्रयत्न करा आणि काय होते ते पहा.

टाचण्या काचपात्रात अत्यंत काळजीपूर्वक टाकणे फार जरूरीचे आहे. टाचणीचे डोके बोटात पकडा आणि ती पाण्यात खुपसून मग हळूच सोडून द्या. याप्रमाणे त्या एकापाठोपाठ एक काचपात्रात टाका व त्यांची संख्या मोजा. पाणी हेंदकळून ते बाहेर सांडेल अशाप्रकारे टाचणीवर दाब देऊ नका. टाचणी टाकताच ती तळाशी जाईल, पण पाण्याची पातळी पूर्वीएवढीच राहील.

आणखी काही टाचण्या पाण्यात टाका. त्यांची संख्या दोनतीनशेच्या घरात सहज जाईल. चारएकशे टाचण्या जरी टाकल्या तरी पात्रातील पाणी बाहेर पडणार नाही. तथापि, पाण्याच्या पृष्ठभागास फुगवटा असल्याचे दिसून येईल. असे का घडते याचे उत्तर फुगवट्यातच दडले आहे.

काच जो पावेतो अल्पशी तेलकट असते तोपावेतो ती पाण्याने क्वचित-तच ओली होते. आपल्या या काचपात्राची आणि इतर चिनीमातीच्या पेल्यांची कड, ते हाताळताना बोटांवर असणाऱ्या तेलाच्या अत्यल्प अंशाने तेलकट होते. ती पाण्याने भिजत नाही आणि टाचण्यांनी दूर सारलेले पाणी फुगते. हे लक्षात येणे अवघडच आहे, पण टाचणी व फुगवटा यांच्या घनफळांची तुलना केल्यास लगेच ते ध्यानात येईल. काठोकाठ भरलेल्या पात्रात आणखी शंभरएक टाचण्या मावण्याएवढी जागा का असते याचेही उत्तर मिळेल.



आ, ६० काचपात्रात टाचण्या

काचपात्राचे तोंड जेवढे रुंद तेवढ्या अधिक टाचण्या त्यात मावतात, कारण फुगवटाही मोठ्या आकाराचा असतो. टाचणी साधारणतः २५ मि. मी. लांब असते आणि अर्धा मि. मी. जाड असते. तिचे घनफळ काढण्यासाठी $(\frac{\Pi D2}{4})$ हे सूत्र वापरा; घनफळ ५ घन मि. मी. असल्याचे आढळून येईल. डोक्यासह टाचणीचे एकूण घनफळ ५.५ मि.मी. भरते. आता फुगवट्याचे घनफळ काढू. काचपात्राच्या तोंडाचा व्यास ९ सें. मी. किंवा ९० मि. मी आहे. अशा वर्तुळाचे क्षेत्रफळ ६,४०० चौरस मि. मी. होते. फुगवट्याची उंची १ मि. मी. पेक्षा जास्त नाही असे समजल्यास त्याचे घनफळ ६,४०० घन मि. मी. म्हणजे एका टाचणीच्या तुलनेने १२०० पट अधिक भरते. दुसऱ्या शब्दात असे म्हणता येईल की पाण्याने "पूर्ण" भरलेल्या काचपात्रात हजारांपेक्षा जास्त टाचण्या सामावून घेणारे कांचपात्र नक्कीच उपलब्ध होते. काचपात्र टाचण्यांनी अगदी भरलेले आहे, शिवाय काही टाचण्या बाहेरसुद्धा डोकावत आहेत, पण पाणी मात्र बाहेर सांडत नाही असे दृश्य पहावयास मिळते.

रॉकेल तेलाचा एक अजब गुणधर्म.

रॉकेलचा दिवा वापरणाऱ्यांना ठाऊक असेलच की हा दिवा वापरणे किती दगदगीचे असते. दिव्यात रॉकेल भरल्यानंतर तो बाहेरून चांगला पुसून ठेवला तरी तासभरात रॉकेल परत बाहेर पसरलेले दिसते. मग आपणच दोषी ठरतो. वाटते की दिव्याचे तोंड नीट बंद न केल्यामुळे असे झाले असावे. असा प्रसंग टाळण्यासाठी झाकण जेवढे घट्ट बसविता येईल तेवढे घट्ट बसवा. पण तसे रॉकेल अगदी काठोकाठ न भरता थोडे कमीच भरा. दिवा लावल्यावर रॉकेल जेव्हा तापते तेव्हा ते जादा प्रमाणातच प्रसरण पावते. दर १०० अंशाला त्याचे आकारमान एक-दशांशाने वाढत जाते हे लक्षात घेऊन दिव्याची टाकी थोडी कमीच भरावी, म्हणजे टाकी फुटण्याची शक्यता राहणार नाही.

रॉकेल किंवा तत्सम तेलावर चालणाऱ्या जहाजांचे बाबतीत या गुणधर्मामुळे कधी कधी फार त्रासदायक परिस्थिती निर्माण होते. जर योग्य खबरदारी घेतली नाही तर रॉकेलशिवाय दुसरे काहीही वाहून नेणे अशक्य ठरते. छोट्या फटीमधून रॉकेल केवळ धातूच्या वस्तूवरच पसरत नाही तर अक्षरशः सर्वत्र पसरते, मग प्रवाशांचे कपडे सुद्धा त्यातून सुटत नाहीत. प्रत्येक वस्तूला, कपड्यांना रॉकेलचा अप्रिय वास येऊ लागतो आणि तो नष्ट करणे अशक्य होते.

पुष्कळदा हा त्रासदायक वास घालविण्याचे प्रयत्न निष्फळ ठरतात. म्हणूनच, जेरोम के. जेरोम या व्यंगकाराने आपल्या **"जहाजावरील तीन माणसे"** या कादंबरीत रॉकेल तेलाबाबत जे अतिशयोक्तीपूर्ण वर्णन केले आहे ते क्षम्यच म्हटले पाहिजे.

"रॉकेल तेलाचा झिरपण्याचा प्रकार मला कधी पाहण्यास मिळाला नव्हता. बोटीच्या एका टोकापासून ते दुसऱ्या टोकापर्यंत हे तेल झिरपत तर गेलेच पण सारी बोट माखून ते पाण्यावरही पसरले. साऱ्या वातावरणात त्याचा वास कोंडून राहिला. कधी पूर्वेकडून तर कधी पश्चिमेकडून आणि दक्षिणेकडून किंवा उत्तरेकडून वारे वाहू लागतचा या तेलाच्या वासाखेरीज दुसरा कोणताच वास येत नव्हता. आर्क्टिक समुद्रातील बर्फ असो किंवा वाळवंटातील वाळू असो, सर्व काही या तेलाच्या वासाने अगदी भरून गेले होते.

"सूर्योदय व सूर्यास्त तेलकट वाटे तर चंद्रकिरणे जणू तेलाने माखलेली वाटत.

"या त्रासातून मुक्त होण्यासाठी मार्लो येथे मुक्काम केला. बोट सोडून रस्त्यावर हिंडूफिरू लागलो पण तो वास काही आमची पाठ सोडेना. जणू सारे शहर तेलाने माखले होते." (खरे म्हणजे प्रवाशांचे कपडे तेलकट झाले होते व त्यामुळे वास येणे बंद होत नव्हते).

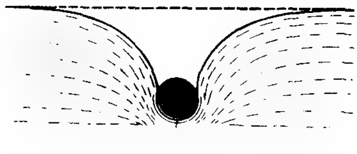
टाक्यांची बाहेरील बाजू रॉकेलने ओली होते व या गुणधर्मामुळे हे तेल धातूमधून किंवा काचेतून झिरपते अशी लोकांची (चुकीची समजूत) झाल्यास त्यात नवल नाही.

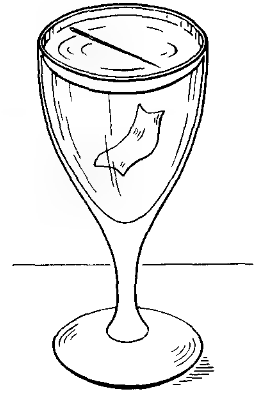
न बुडणारे नाणे

न बुडणारे नाणे हा प्रकार परिकथेतच शक्य असणार अशी आपली समजूत असेल. पण अगदी साध्या प्रयोगांनी ते खरोखरीच शक्य आहे याची प्रचीती येईल. एखादी लहानशी वस्तू, उदाहरणार्थ, सुई किंवा टाचणी घेऊन सुरवात करा. पोलादी सुई पाण्यावर तरंगत ठेवता येईल हे अशक्य वाटते ना? पण ते अवघड नाही. टीपकागदाचा तुकडा पेल्यातील पाण्यात टाका आणि अगदी कोरडी सुई त्यावर ठेवा. थोड्याच वेळात टीपकागद पूर्णपणे भिजून पाण्यात बुडेल पण सुई मात्र तरंगत राहील (आ. ६१). पेल्याच्या बाहेरून चुंबक फिरवून सुई गोलगोल फिरवितासुद्धा येईल.

थोड्याशा अनुभवाने कागदही लागणार नाही. सुई मध्यभागी धरा, ती पाण्याला समांतर ठेवून कमीतकमी उंचीवरून पाण्यात अलगदपणे टाका. मात्र सुई किंवा टाचणी २ मि. मी. पेक्षा जाड असता कामा नये. हे तंत्र एकदा जमले की नाणे वापरून पहा.

धातूच्या या साऱ्या वस्तू हातावरील अल्पशा तेलामुळे तेलकट होतात.





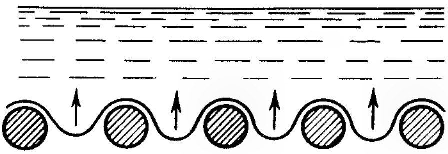
आ. ६१
तरंगती सुई, डावीकडे : सुईचा छेद (२ मि. मी. जाड) आणि तिने निर्माण केलेला खड्डा, (दुप्पट वर्धन), उजवीकडे कागदाचा तुकडा वापरून सुई कशी तरंगत ठेवावी.

त्या पाण्यामुळे ओल्या होत नसल्यामुळे तरंगतात. तरंगत्या सुईमुळे पाण्यास येणारा खोलगटपणाही पाहता येईल. पाण्याचा दबलेला पृष्ठभागीय पापुद्रा मूळ स्थितीत येण्याच्या प्रयत्नात सुईला वर उचलतो. तसेच, सुईमुळे जेवढे पाणी दूर सारले जाते तेवढ्याच वजनाचे बल सुईला वर ढकलत असतेच. सुई तरंगत ठेवण्याचा सोपा उपाय म्हणजे ती मुद्दाम तेलकट करणे. मग मात्र सुई कधीच बुडणार नाही.

चाळणीतून पाणी न्या !

हा प्रकारही काही परिकथेतील नाही. वरवर काहीसा अशक्य वाटणारा हा प्रकार भौतिकशास्त्राच्या मदतीने नक्कीच सिद्ध करता येतो. सुमारे १५ सें. मी. रुंदीची आणि १ मि. मी. पेक्षा जास्त जाडी नसणाऱ्या छिद्रांची चाळणी घ्या. जाळीवर मेणाचा अगदी न जाणवणारा थर देण्यासाठी ती वितळलेल्या मेणात बुडवून काढा. चाळणी पूर्वीप्रमाणेच असते व टाचणी आरपार जाईल अशी तिची छिद्रेही मोकळीच राहतात. पण आता अशा चाळणीतून आपण पाणी नेऊ शकता. चाळणीत पाणी ओतताना मात्र हलकेच व काळजीपूर्वक ओतले पाहिजे, आणि तसे करताना चाळणीस धक्का मात्र लागता कामा नये.

छिद्रातून पाणी का बरे पडत नाही ? पाणी मेणास ओले करत नसल्यामुळे पाण्याचा पातळ पापुद्रा तयार होऊन त्यास छिद्रांमध्ये फुगवटा येतो. या पापुद्र्यामुळेच तर पाणी छिद्रांमधून पडणे रोखले जाते (आ. ६२). ही मेणवलेली



आ. ६२

चाळणी पाणी का नेऊ शकते

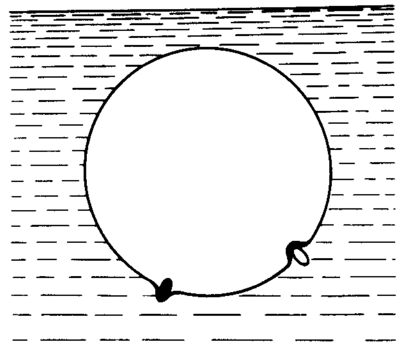
चाळणी पाण्यावर तरंगेलसुद्धा. म्हणजेच ती निव्वळ पाणी वाहून नेईल असे नाही तर नाव म्हणूनही वापरता येईल.

विरोधाभासाचा अनुभव देणारा हा प्रयोग नेहमीच्या पाहण्यातील अनेक गोष्टींमागील रहस्यांचा उलगडा करतो. पण त्यांच्या अतिपरिचयामुळे का व कसे याचा आपण विचारहीं करत नाही. पिपांना आणि बोटींना डांबर लावणे; छपरांना व दाराखिडक्यांना तेलाचा रंग देणे, बुचांना मेणविणे अथवा पाण्याचा वस्तूंवर परिणाम होऊ नये म्हणून त्या सर्वांना तैलयुक्त पदार्थाचा थर देणे; कापडावर रबराचा थर देणे यामागील उद्देश वर उल्लेखिलेल्या चाळणी-प्रमाणेच असतो.

फेसाची यांत्रिक मदत

खाणीतून जी खनिजयुक्त माती मिळते त्यातील केवळ खनिजाचे प्रमाण वाढविणे फायदेशीर ठरते. त्यासाठी वापरण्यात येणाऱ्या पद्धतीमध्ये व सुई तरंग-विण्याच्या प्रयोगामध्ये बरेच साम्य आहे. खनिजाचे प्रमाण वाढविण्यासाठी ज्या विविध पद्धती वापरल्या जातात, त्यामध्ये फेस तरण पद्धत सर्वोत्कृष्ट ठरते. जेव्हा इतर पद्धती अयशस्वी ठरतात तेव्हा ही पद्धत हमखास उपयोगी पडते.

फेसतरण पद्धत पुढीलप्रमाणे आहे. बारीक दळलेली खनिजयुक्त माती प्रथम पाणी व तेलाच्या मिश्रणात मिसळली जाते. तेलाचा खनिजकणाभोवती सूक्ष्म थर चढत असल्यामुळे ते पाण्याने ओले होत नाहीत. नंतर या मिश्रणातून हवेचा झोत सोडला जातो. त्यामुळे असंख्य लहान लहान बुडबुडे निर्माण होऊन ते पृष्ठभागी जमा होऊ लागतात. खनिजकण तेलाने माखलेले असल्यामुळे ते बुडबुड्यांना चिकटतात व त्यांच्यासह वर नेले जातात मातीवर तेलाचा थर नसल्यामुळे ती बुडबुड्यांना चिकटत नाही व तळाशीच राहते. बुडबुडे चांगले मोठे असल्यामुळेच ते खनिजकण वर नेऊ शकतात (आ. ६३). परिणामी फेसामध्ये जास्तीत जास्त खनिजकण जमतात व वेळोवेळी हा फेस काढून घेतला जातो; त्यातील खनिजकण वेगळे करून त्यावर पुढील प्रक्रिया केल्या जातात. या प्रमाणे खनिजाचे निव्वळ प्रमाण कितीतरी पटींनी वाढविले जाते जर योग्य प्रकारचे तैलमिश्रण वापरले तर कोणत्याही विशिष्ट



फेस तरण मागील रहस्य   आ. ६३

प्रकारच्या खनिजासाठी ही पद्धत हमखास उपयुक्त ठरते.

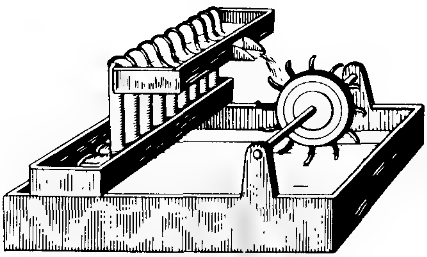
या तंत्राचा शोध योगायोगानेच लागला. गेल्या शतकाच्या अखेरची गोष्ट. कॅरी एव्हरसन नामक एक स्त्री कॉपर पायरेट या खनिजाच्या थैल्या धुवून स्वच्छ करीत होती. त्यावेळी तिला असे दिसून आले की थैल्यांना चिकटलेले कॉपर पायरेटचे कण साबणाच्या फेसात अडकून वर तरंगत आहेत. यातूनच फेसतरण तंत्र प्रचारात येण्यास चालना मिळाली.

"निरंतर गती"चे खोटे यंत्र

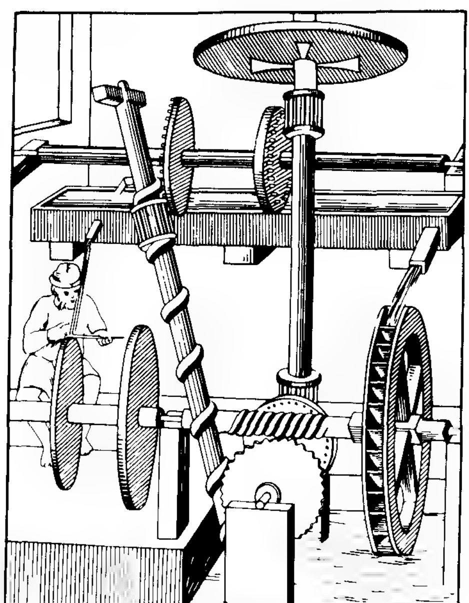
पुढे वर्णन केलेले "निरंतर गती"चे यंत्र कदाचित आपल्या ऐकण्यात आले नसावेच (आ. ६४). त्यामध्ये एका पात्रात तेल (किंवा पाणी) ठेवलेले असून ते वातींमार्फत शोषिले जाते व पहिल्या पात्रात पडते. त्यातील आणखी काही वाती मार्फत ते परत शोषिले जाते व पहिल्यापेक्षा अधिक उंचीवरच्या पात्रात टाकले जाते. या अधिक उंचीवरच्या पात्रास खाच किंवा तोटी असून त्यातून हे तेल वाट्या बसविलेल्या चाकावर पडते. साहजिकच चाक फिरविले जाते. तळच्या पात्रात तेल पडत राहते आणि वातींमार्फत पुनः पुन्हा शोषिले जाऊन अगदी वरच्या पात्रात टाकले जाते. या प्रमाणे वाट्यांमध्ये तेल पडणे कधीच बंद होत नाही आणि चाक सतत फिरत राहते.

ज्या व्यक्तीने अशा यंत्राची कल्पना केली त्याने ते प्रत्यक्ष करून पाहण्याची तसदी घेतली असती तर त्याला लगेच समजले असते की तेलाचा एक थेंबसुद्धा वरच्या पात्रापर्यंत पोहोचणार नाही; मग चाक फिरणे तर दूरच राहिले. हे जाणण्यासाठी यंत्र तयार करण्याची खरे म्हणजे जरूरी नाही. वातीच्या वरच्या वळविलेल्या भागातून तेल वाहिलेच पाहिजे असे शोधकाने का समजावे? हे खरे की केशाकर्षक गुणधर्मामुळे गुरुत्वावर मात होऊन तेल

वातीत चढले पाहिजे व चढतेही. पण त्याच गुणधर्मामुळे, वातीतील तेल बाहेर झिरपण्यास प्रतिबंधही केला जातो. क्षणभर असे समजू की वातीमार्फत तेल वरच्या पात्रात टाकले गेले. पण त्याबरोबरच हे सुद्धा मान्य करावयास हवे की याच वातीमुळे तेल तळच्या पात्रातही उतरणार.



आ. ६४
अस्तित्वात नसलेले ' निरंतर गती 'चे यंत्र,



आ. ६५ पाण्यावर चालणाऱ्या एका प्राचीन ' निरंतर गती 'च्या यंत्राची रुपरेषा, घर्षण-पाषाण चालविण्यासाठी.

या फसव्या प्रकाराशी काहीसे मिळतेजुळते व पाण्यावर चालणारे आणखी एक यंत्र १५७५ मध्ये थोरला स्कोडा नामक इटालियन माणसाने शोधले. आकृती ६५ मध्ये यंत्राची रचना पहावयास मिळेल. ते फिरू लागले की आर्किमिडीजच्या मळसूत्रामार्फत पाणी वरच्या टाकीत खेचले जाते. त्यातून ते एका तोटीमार्फत कप्पे असणाऱ्या चाकावर पडते व फिरू लागते. त्यास जोडलेल्या घर्षणयंत्राचे घर्षणचाकही फिरू लागते आणि त्याचबरोबर अनेक दातेरी चक्राच्या सहाय्याने आर्किमिडीजचे मळसूत्रही फिरविले जाते. थोडक्यात सांगावयाचे म्हणजे मळसूत्र चाक फिरविते आणि चाक मळसूत्र फिरविते! हे सारे शक्य असेल तर एका कप्पीवरून (खोबणीयुक्त चाकावरून) दोर टाकावा व त्याच्या दोन्ही टोकांना सारखीच वजने बांधावीत; एक खाली आले की दुसरे वर जाईल, ते खाली येताच पहिले वर जाईल असे सर्वात सोपे व साधे यंत्र का बरे अस्तित्वात येऊ नये? "निरंतर गतीचे" ते तर आदर्श यंत्र ठरावयास हवे.

साबणाचे फुगे

साबणाचे फुगे कसे करावेत हे आपणास ठाऊक आहे काय? पण ही गोष्ट वाटते तेवढी सोपी नाही. मोठाले आकर्षक फुगे तयार करणे ही एक कला असून परिश्रमाने व अनुभवानेच ती साध्य होणारी आहे. पण वरवर पोरकट वाटणारे हे फुग्यांचे काम खरोखरीच उपयुक्त व काही शिकता येण्याजोगे आहे का? भौतिकशास्त्रज्ञ मात्र हे काम पोरकट समजत नाहीत. केल्व्हिन या थोर भौतिक शास्त्रज्ञाने म्हटले आहे की, "साबणाचे फुगे तयार करून त्यांचे निरीक्षण करा. साऱ्या आयुष्यभर त्यांचा अभ्यास करता येईल आणि भौतिकशास्त्रातील अनेक सिद्धान्त एकामागून एक शिकता येतील."

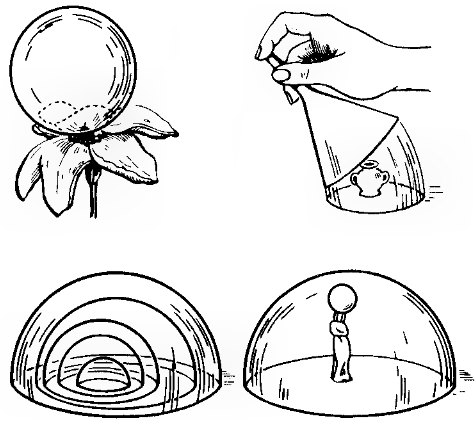
या फुग्यांच्या आत्यंतिक पातळ थरावर इंद्रधनुष्य किंवा मोरपंखी रंगाप्रमाणे प्रकाशणारे रंग हे, भौतिकशास्त्रज्ञांना प्रकाशतरंगांची लांबी मोजण्यात मदत करतात. कणांकणामध्ये जी आकर्षणात्मक प्रवृत्ती असते त्यातील आंतरप्रक्रियांचे नियम सूत्रबद्ध करण्यास या पातळ थरातील ताणाचा अभ्यास उपयुक्त ठरतो. सजातीय रेणूंमध्ये असे आकर्षण नसते तर हे जग म्हणजे सूक्ष्म धुलिकणांचा केवळ एक ढग ठरले असते.

मात्र खाली सांगितलेल्या प्रयोगाद्वारे असे काही गहन शिकविण्याचा हेतू नाही. हसतखेळत प्रयोग करताकरता करमणुकीबरोबरच थोडेफार शिकता यावे एवढाच माफक हेतू आहे. "**सोप बबल्स अँड द फोर्सेस वुइच मोल्ड देम**" या आपल्या पुस्तकात इंग्रज भौतिकशास्त्रज्ञ चार्ल्स बॉईज याने खूप विस्ताराने या फुग्यांशी संबंधित असणारे अनेक प्रयोग दिलेले आहेत. जर फुग्यांबाबत आपणाला कुतूहल वाटत असेल तर हे पुस्तक जरूर पहा.

खाली अगदी सोपे असे प्रयोग दिले आहेत. त्यासाठी नेहमीचा धुण्याचा साबण वापरता येईल; अंगाचा साबण मात्र या कामासाठी उपयोगी नाही मोठाले व सुंदर फुगे तयार करण्यास ऑलिव्ह तेलापासून किंवा ग्लिसरिन-पासून तयार केलेला साबण फारच आदर्श ठरतो. पाण्यात काळजीपूर्वक साबण मिसळून दाट मिश्रण तयार करा. शक्यतो पावसाचे किंवा उकळून थंड केलेले पाणी वापरा. फुगे टिकाऊ व्हावेत म्हणून त्यात १:३ या प्रमाणात त्यात ग्लिसरिन टाकावे असे प्लेटयूचे म्हणणे आहे. याप्रमाणे साबणाचे पाणी तयार झाल्यावर त्यावर जमलेले बुडबुडे वा फेस नाहीसा करून त्यामध्ये कागदाची नळी उभी बुडवा. नळी बुडविण्यापूर्वी टोकास आतून व बाहेरून साबण चोळा व टोक फुलीच्या आकारात किंचितसे कापा. थंड पेये पिण्याची नळी ऊर्फ स्ट्रॉ या कामासाठी उत्तम ठरेल.

फुगे पुढील प्रमाणे फुगविता येतील. पाण्यात नळी उभी बुडवा म्हणजे नळीवर साबणाच्या पाण्याचा थर चढेल. नंतर दुसऱ्या टोकाकडून हलकेच फुंका. फुंकण्यामुळे आपल्या फुफ्फुसातील गरम हवा फुग्यात भरली जाईल व खोलीतील हवेपेक्षा ती हलकी असल्यामुळे फुगा फुगविताच तरंगू लागेल साधारणपणे १० सें. मी. रुंदीचा फुगा तयार झाला पाहिजे. जर होत नसेल तर आणखी साबण मिसळा. एवढे पुरेसे नसेल तर आणखी एक चाचणी घ्या. साबणाच्या पाण्यात बोट बुडवा व ते फुग्यात खुपसण्याचा प्रयत्न करा. जर फुगा फुटला नाही तर पुढचे प्रयोग करण्यास हरकत नाही. फुगा फुटला तर आणखी थोडासा साबण मिसळणे आवश्यक आहे. सावकाश आणि काळजी-पूर्वक प्रयोग करा, घाईगर्दीने करू नका. खोलीत भरपूर उजेड पाहिजे, नाही तर रंग नीट प्रकाशणार नाहीत. हे पहा आणखी काही मनोरंजक प्रयोग.

(१) **फुग्यामध्ये फूल**. एका ताटात ३ मि. मी. खोलीएवढे साबणाचे पाणी ओता. नंतर पाण्याचे मध्यभागी एखादे फूल किंवा इतर कोणतीतरी वस्तू ठेवा. त्यावर काचेचे एक नसराळे ठेवा. मग अगदी सावकाशपणे नसराळे उचला व त्याचवेळी नसराळ्याचे तोटीतून फुंकून फुगा तयार करा. फुगा भरपूर मोठा झाल्यावर नसराळे कलते करून, आकृती ६६ मध्ये दाखविल्या-प्रमाणे फुगा मोकळा करा. फूल किंवा वस्तू पारदर्शक, अर्धगोलाकार आणि चमकत्या रंगांच्या फुग्याखाली असल्याचे दिसेल. फुलाऐवजी छोटी बाहुली वापरून तिच्या डोक्यावर लहानशा फुग्याचा मुकुट ठेवता येईल (आ. ६६). त्यासाठी मोठा फुगा फुगविण्यापूर्वी बाहुलीचे डोक्यावर साबणाचे थोडे पाणी शिंपडा. नंतर मोठा फुगा तयार करा व त्यामध्ये नळी खुपसून आत छोटा फुगा फुगवा.



आ. ६६   साबणाचे फुगे

(२) **एकात एक फुगे** (आ. ६६). वरील प्रयोगात वापरलेल्या नसराळ्या-चाच उपयोग करून एक मोठ्या आकाराचा फुगा तयार करा. नंतर नळी ज्या टोकाकडून फुंकता तेवढेच टोक कोरडे ठेऊन बाकीचा भाग साब-णाच्या पाण्यात बुडवा. मग ही नळी पहिल्या फुग्यात अलगद खुपसा व मध्य-भागापर्यंत न्या. नंतर नळी सावकाशपणे बाहेर ओढा पण पूर्णपणे बाहेर काढू नका, आता पहिल्या फुग्याच्या आत दुसरा फुगा फुगवा अशाच प्रकारे दुसऱ्या फुग्यात तिसरा, तिसऱ्यात चौथा याप्रमाणे फुगे फुगवा.

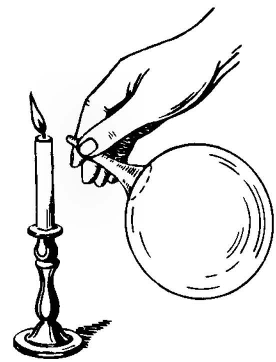
(३) **नळकांड्यासारखा फुगा** (आ. ६७). अशा आकाराचे फुगे तयार करण्यासाठी तारेची दोन वलये हवीत. त्यापैकी एकावर (खालच्या) नेहमी-सारखा गोल फुगा तयार करा. नंतर दुसरे वलय साबणाच्या पाण्यात बुडवा आणि फुग्यावर टेकवा. मग हलकेच वलय वर उचला. फुगा नळकांड्यासारखा आकार घेईल. एक गोष्ट मात्र लक्षात ठेवा की वलयाच्या परिघापेक्षा अधिक उंचीपर्यंत वलय उचलले गेले तर फुग्याचा अर्धा भाग आक्रसेल आणि अर्धा फुगीर बनेल. फुगा दोन भागात अलग होईपर्यंत हे चालू राहील.

साबणाच्या फुग्याचा पापुद्रा सतत ताणलेल्या अवस्थेत असतो व आतील हवेला दाबत असतो. या अतिपातळ पापुद्र्याची ताकद वाटते तेवढी कमी नसते. फुगा चिकटविलेल्या नसराळ्याची तोटी मेणबत्तीच्या ज्योतीजवळ धरा. ज्योत लक्षात येण्याएवढी थरथरते.



आ. ६७

दंडगोलाकृति साबणाचा फुगा कसा करावा



आ. ६८

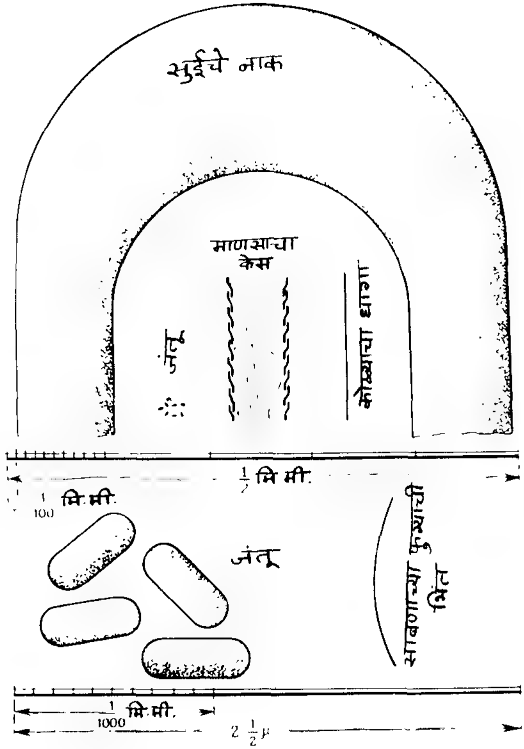
साबणाच्या फुग्याचा पातळ पापुद्रा हवा बाहेर फेकतो व त्यामुळे मेणबत्तीची ज्योत थरथरते.

फुगा गरम खोलीतून थंड खोलीत नेल्यास काय होते ते पाहण्याजोगे असते. तो चांगलाच आक्रसतो. या उलट प्रकार झाल्यास तो प्रसरण पावतो. फुग्यातील हवेचे आकुंचन व प्रसरण पावणे यावरच ते अवलंबून असते. शून्याखाली १५ अंश से. तपमान असताना १००० घन सें. मी. चा फुगा १५ अंश से. तपमान असणाऱ्या खोलीत आणला तर त्याचे आकारमान साधारणपणे ११० घन सें. मी. ने ($१००० \times ३० \times \frac{१}{२७३}$) वाढेल.

साबणाचे फुगे वाटतात तेवढे अल्पजीवी नसतात. तर काळजीपूर्वक हाताळले तर ते निदान दहा दिवस टिकविता येतील. हवेच्या द्रवीभवनाबाबत मोठी कीर्ती मिळविणाऱ्या देवार या इंग्रज शास्त्रज्ञाने धूळ, कोरडेपणा आणि धक्क्यांपासून सुरक्षित बाटल्यांमध्ये हे फुगे एक महिन्यापेक्षाही अधिक काळ सुरक्षितपणे जतन केले. लॉरेन्स या अमेरिकन माणसाने घंटापात्रात असे फुगे वर्षानुवर्षे सुरक्षित ठेवले.

सर्वांपेक्षा बारीक

फारच थोडया लोकांना माहीत असेल की निव्वळ डोळयांना दिसणारी आत्यंतिक पातळ वस्तू म्हणजे साबणाच्या फुग्याचा पापुद्रा ही होय. या पापु-



आ. ६९ वरील : सुईचे नाक, माणसाचा केस, जंतू आणि कोळ्याचा धागा, दोनशे पट वर्धन.
खाली : जंतू आणि साबणाच्या फुग्याची भिंत, ४०,००० पट वर्धन.

द्र्याशी तुलना करण्यास जर नेहमीच्या वस्तू वापरावयाचे ठरविले तर त्या अतिशय जाडजूड ठरतील. "केसाप्रमाणे बारीक" किंवा 'पतंगाच्या कागदा-प्रमाणे पातळ" म्हणून ओळखल्या जाणाऱ्या वस्तू फुग्याच्या पापुद्र्याचे मानाने फारच जाड असतात केस किंवा पातळ कागदापेक्षा हा पापुद्रा ५०००ने पातळ असतो! मानवी केस २०० पट वर्धित केला तर त्याची जाडी सुमारे १ सें. मी. भरेल. पापुद्र्याचा छेद तेवढ्याच पटीने वर्धित केला तरीसुद्धा तो दिसणार नाही. छेद अगदी बारीक रेषेप्रमाणे दिसण्यास आणखी २०० पट

वर्धित करावा लागेल. मग केस ४०,००० पटींनी वर्धित होऊन दोन मीटर-पेक्षाही अधिक जाड होईल. आ. ६९ मध्ये ही वस्तुस्थिती उत्तम प्रकारे दर्शविली आहे.

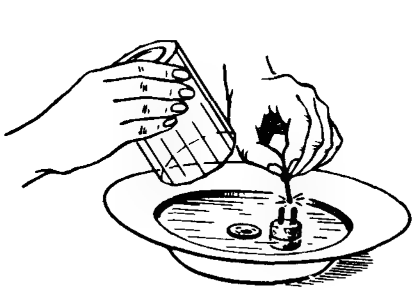
बोटे ओली न करता.

एक मोठे ताट किंवा बशी घ्या व तीमध्ये एक नाणे ठेवा. नाणे पाण्यात बुडेल एवढे पाणी ताटात ओता. आपल्या मित्रांना आता सांगा की बोटे ओली न करता नाणे काढून दाखवा! अशक्य वाटते, होय ना?

पण काचेचा पेला व कागदाचा तुकडा वापरून अतिशय सोप्या मार्गाने ही "जादू" करता येईल. कागदाचा एक तुकडा घेऊन त्यास काडी लावा आणि तो जळत असताना पेल्यात टाका. आता पेला झटकन ताटात उपडा ठेवा. कागद विझेल आणि पांढरट धुराने पेला भरून जाईल. त्याचवेळी सारे पाणी पेल्याखाली गोळा होईल. नाणे अर्थातच आहे तिथेच राहील. चारदोन मिनिटांनी नाणे वाळून कोरडे होईल, मग ते बोटे ओली न करता उचलता येईल.

पेल्यात पाणी का खेचले गेले व त्यात ते विशिष्ट पातळीपर्यंत का चढले? वातावरणाचा दाब हे यामागचे कारण आहे. जळत्या कागदामुळे पेल्यातील हवा गरम झाली व तिचा दाब वाढला. त्यापैकी काही पेल्याबाहेर निसटला. जेव्हा कागद विझला तेव्हा हवा परत थंड झाली व दाब कमी झाला. पेल्याबाहेरील हवेचा दाब अधिक ठरल्यामुळे त्यायोगे पाणी पेल्यात ढकलले गेले. कागदाऐवजी, काड्यापेटीतील काड्या बुचाच्या तुकड्यात अडकवूनही वापरता येतील (आ. ७० मध्ये दाखविल्याप्रमाणे).

अतिशय जुन्या अशा या प्रयोगाबाबत चुकीची समजूत प्रचलित आहे. (ख्रि. पू. पहिल्या शतकात होऊन गेलेल्या बिझांटियमच्या फिलो नामक शारीरवेत्त्याने हा प्रयोग प्रथम विशद केला व त्याचे अचूक स्पष्टीकरणही त्याने दिले). काही जण असे म्हणतात की, "जळून जाणाऱ्या प्राणवायूमुळे" पाणी



आ. ७०
बोटे ओले न करता नाणे कसे उचलावे.

पेल्यात चढते, आणि याच कारणामुळे पेल्यातील हवेचा साठा कमी होतो. हे अगदी चुकीचे आहे. पाणी पेल्यात जाते ते हवा गरम झाल्यामुळेच. कागदाच्या ज्वलनासाठी प्राणवायू वापरला जातो म्हणून मुळीच नव्हे. या गोष्टीची सत्यता पुढीलप्रमाणे पडताळून पाहता येईल. पेल्यात गरम पाणी ओतून तो तापवा. यामुळे जळत्या कागदाची गरज भासणार नाही. आता कागदाऐवजी स्पिरिटमध्ये भिजविलेला कापसाचा बोळा वापरलात तर तो अधिक वेळ जळून हवा उत्तम प्रकारे गरम होईल आणि पाणी पेल्यात सहजपणे निम्म्या उंचीपर्यंत चढेल. हवेच्या एकूण आकार मानापैकी एक-पंचमांश प्राणवायू असतो ही गोष्ट या ठिकाणी ध्यानात ठेवली पाहिजे. प्राणवायूच्या झालेल्या तथाकथित वापराऐवजी वस्तुत: कार्बनवायू (कार्बन डॉयॉक्साइड) आणि पाण्याची वाफ असते. कर्बवायू पाण्यात विरघळतो आणि प्राणवायुची जागा पाण्याची वाफ घेते.

आपण कसे पितो ?

यात विचारण्याजोगे विशेष काय आहे असेच आपण म्हणाल. पण हा प्रश्न विचार करण्याजोगाच प्रश्न आहे. पिताना आपण पेला किंवा चमचा ओठांशी आणतो आणि त्यातील द्रवपदार्थ शोषून घेतो. हे साधे काम जे अंगवळणी पडले आहे त्याचेच स्पष्टीकरण करणे आवश्यक आहे. तोंडात द्रवपदार्थ जावाच का ? तसे होण्यामागे कोणते कारण आहे ? आपण पाणी पितो तेव्हा छाती – फुफ्फुसे फुगवितो – ती प्रसरण पावतात आणि तोंडातील हवा विरळ बनते. कमी दाबाच्या या जागी **बाहेरच्या हवेच्या दाबामुळे** द्रवपदार्थ आत ढकला जातो, म्हणनच तो तोंडात आलेला दिसतो. एकमेकास जोडलेल्या अशा दोन पात्रांपैकी एका पात्रावरील हवा विरळ केल्यास दोहोंतील द्रवपदार्थात अशीच हालचाल होईल. वातावरणाच्या दाबामुळे विरळ हवेच्या पात्रात पाण्याची पातळी वाढेल. एखाद्या बाटलीचे तोंड ओठांनी बंद करून आतील पाणी शोषण्याचा प्रयत्न असफल ठरेल, कारण हवेचा तोंडातील दाब व पाण्यावरील दाब सारखाच असणार. काटेकोरपणे सांगावयाचे झाल्यास आपण केवळ तोंडानेच पाणी पीत नसून फुफ्फुसांनीही पितो. पाणी तोंडात शिरण्यास छातीचे प्रसरणच कारणीभूत असते.

नरसाळ्यात सुधारणा.

अनेकांनी पाहिलेच असेल की नरसाळ्याच्या सहाय्याने बाटलीत किंवा डब्यात द्रवपदार्थ भरतेवेळी नरसाळे अधूनमधून थोडेसे उचलावे लागते, तसे केले नाही तर द्रवपदार्थ नरसाळ्यातच राहतो. याचे कारण असे की बाटलीतल्या हवेस बाहेर जाण्यास मार्ग उरत नाही आणि ती नरसाळ्यातील द्रवपदार्थास रोखून धरते. थोडासा द्रवपदार्थ आत पडतो आणि द्रवाच्याच दाबा-

मुळे बाटलीतील हवा दाबली जाते तथापि, स्वतःच्याच दाबामुळे ही हवा पुरेशी स्थितीस्थापक बनून नरसाळयातील द्रवाच्या दाबाएवढाच तिचा दाब होतो. नरसाळे किंचितसे उचलून या दाबल्या गेलेल्या हवेस आपण वाट करून देतो. मग द्रवपदार्थ पडण्यास पुन्हा सुरवात होते. नरसाळे उपयुक्त ठरण्यासाठी निमुळत्या भागावर बाहेरच्या बाजूने थोडेसे उंचवटे हवेत म्हणजे बाटलीच्या तोंडात ते घट्ट बसणार नाही आणि प्रवाह शेवटपर्यंत सुरळीत चालू राहील.

एक टन लाकूड व एक टन लोखंड.

एक टन लाकूड व एक टन लोखंड यापैकी कोणते अधिक जड असेल? विचार न करता उत्तर देणारे निष्काळजी लोक पट्कन सांगतील की एक टन लोखंडच अधिक जड असणार. प्रश्नकर्त्याला ते ऐकून हसूच येईल आणि एक टन लाकूड अधिक जड असे काहींनी सांगितल्यास तो तर मोठमोठ्याानेच हसू लागेल. ही थट्टा तर चालली नाही ना असे मग वाटू लागेल. पण हसण्याजोगीच ही उत्तरे आहेत यात शंका नाही.

यात मुद्दा हा आहे की आर्किमिडीजचा सिद्धान्त द्रवपदार्थाप्रमाणेच वायूंच्या बाबतीतही तितकाच लागू पडतो. हवेमध्ये वस्तूच्या आकारमाना-एवढी जी हवा दूर सारली जाते, तिच्या वजनाएवढी "घट" वस्तूंच्या वज-नात होते. लाकडाच्या व लोखंडाच्या वजनातही अशी घट होतेच आणि त्यांचे खरे वजन काढण्यासाठी ही घट जाणून घ्यावयास हवी. म्हणजेच लाकडाचे खरे वजन = एक टन + दूर सारलेल्या हवेचे वजन, एवढे होईल. लोखंडाचेही खरे वजन म्हणजे एक टन अधिक लोखंडाने दूर सारलेल्या हवेचे वजन, असेच असते. तथापि, लोखंडापेक्षा लाकूड सुमारे १५ टक्के अधिक जागा व्यापते. यावरून असे दिसून येईल की लाकडाचे खरे वजन, लोखं-डाच्या वजनापेक्षा जास्त भरेल. खरे तर असेच म्हटले पाहिजे की हवेत जेवढ्या लाकडाचे एक टन वजन भरते. तेवढ्या लाकडाचे खरे वजन हे, हवेत जेवढ्या लोखंडाचे एकच टन वजन भरते त्याच्या खऱ्या वजनापेक्षा अधिक असते. एक टन लोखंड १।८ घनमीटर आणि एक टन लाकूड २ घनमीटर जागा व्यापते. हवेच्या या दोन भिन्न आकारमानाच्या वजनातील फरक सुमारे २.५ कि. ग्रॅ. असतो. म्हणजेच एक टन लाकूड.एक टन लोखं-डापेक्षा खरोखरीच २.५ कि. ग्रॅ. ने जादा वजनदार असते.

भारहीन माणूस.

पिसापेक्षा हलके व्हावे किंवा हवेपेक्षाही हलके होऊन गुरुत्वाकर्षणाचे बंधनास न जुमानता आकाशात मुक्तपणे विहार करता यावा हे लहान मुलां-

चेच काय पण मोठ्यांचेही एक आवडते स्वप्न असते. जाताजाता एक वस्तुस्थिती निदर्शनास आणाविशी वाटते की पीस खरे पाहता हवेपेक्षा शेकडो पटींनी वजनदार असते. ते हवेत तरंगते ते केवळ त्याच्या खूपशा विस्तारामुळे. वातावरणाचा प्रतिरोध त्यांच्या वजनाचे मानाने कितीतरी पट अधिक असतो. आकाशात विहरण्याचे स्वप्न उराशी बाळगणारे हे विसरतात की ते **हवेपेक्षा वजनदार** असल्यामुळे जमिनीवरून चालू शकतात.

टॉरिसेलीने म्हटले आहे की, "आपण हवेच्या समुद्राचे तळाशी रहात आहोत." जर आपण एकाएकी हवेपेक्षा हलके झालो तर या हवेच्या समुद्रावर नक्कीच तरंगू लागू. आपण कित्येक कि. मी. वर जाऊ आणि ज्या ठिकाणी आपल्या शरीराची व हवेचीही घनता एकच असेल त्या भागात स्थिर होऊ. डोंगरदऱ्यांवरून स्वच्छंदपणे भटकण्याचे आपले स्वप्न भंग पावले; कारण जरी आपण गुरुत्वाकर्षणाच्या तडाख्यातून सुटलो तरी हवेच्या प्रवाहात ओढले जाऊ.

लठ्ठपणाच्या त्रासातून सुटण्याची इच्छा एक अतिलठ्ठ माणूस करतो व त्याची कथा एच्. जी. वेल्स यांनी रंगविलेली आहे. या लठ्ठ माणसाला वजन कमी करणारे एक अद्‌भुत मिश्रण मिळते व ते तो पितो. कथाकार जेव्हा या आपल्या परिचित जाड्या व्यक्तीस भेटावयास जातो आणि त्याचा दरवाजा ठोठावतो तेव्हा त्याला अनेक आश्चर्यजनक प्रकार पहावयास मिळाले.

"बराच वेळ दार कोणी उघडलेच नाही.

"तेवढ्यात किल्ली फिरविल्याचा आवाज आला आणि पाठोपाठ पायक्राफ्टचे शब्द ऐकू आले, "या, आत या."

"दाराची मूठ फिरवून मी दार उघडले. समोरच पायक्राफ्ट दिसतील अशी मी साहजिकच कल्पना केली.

"पण काय सांगू तुम्हाला, ते तेथे नव्हतेच!

"साऱ्या आयुष्यात एवढा जबरदस्त धक्का मला कधीच बसला नव्हता. त्यांची बैठकीची खोली अस्ताव्यस्त होती. खाण्याच्या बशा, पुस्तके सर्वत्र पसरली होती; खुर्च्या उलटचापालटचा झाल्या होत्या. पण पायक्राफ्ट?

"आत बसा ना, आणि तेवढे दार लावून घ्या." माझ्या कानावर शब्द पडले. तेव्हा कुठे मला पायक्राफ्ट दिसले.

"खोलीच्या दाराच्या वरच तक्तपोशीला ते लटकलेले दिसत होते. छताला जणू सरसाने चिकटविल्याप्रमाणे त्यांची स्थिती झाली होती. त्यांचा चेहरा काहीसा व्यग्र आणि चिडलेला दिसत होता. "तेवढे दार बंद करा हो," ते काहीसे चिडून म्हणाले. "त्या बाईला जर हा प्रकार कळला तर..."

मी दार बंद केले आणि थोडेसे लांबच उभे राहून म्हटले.



आ. ७१ "पाहतो तो ते अगदी छताजवळ
वर दिसले."

"धाडकन कदाचित खाली पडाल हो. मान वगैरे मोडेल ना!"

"तशीच माझी इच्छा आहे. पण..." पायक्राफ्ट हताशपणे उद्गारले

"कमाल आहे! तुमच्या वयाचा आणि वजनाचा माणूस अशा कसरतीच्या मागे लागतो काय..."

"तसे नाही हो. काय झाले ते सांगतोच" काहीसे वैतागून ते म्हणाले.

"काय चमत्कार आहे! वर छताशी तुम्ही सुरक्षित आहात?

मग मला समजून चुकले की पायक्राफ्ट छताला चिकटले नसून हवेत तरंगत आहेत! जणू हवेने भरलेला फुगाच. त्यांनी खाली येण्यासाठी पायांनी छताला जोर लावला, पण व्यर्थ!

"हा साऱ्या त्या औषधाचा परिणाम. तुमच्या आजीबाईनी..."

बोलता बोलता पायक्राफ्टनी एका तसबिरीस पकडण्याचा प्रयत्न केला, पण हात सुटला आणि परत ते तरंगत वर गेले. इकडे तसबीर धाड्‌दिशी खाली पडून तिचा चक्काचूर झाला. त्यांनी मोठ्या प्रयत्नाने पुन्हा दुसरा आधार घेतला व ते थोडेसे खाली आले. एव्हाना ते चांगलेच पांढरेफ़टफटीत पडलेले दिसत होते.

ते एक फारच चमत्कारिक दृश्य होते. तो लठ्ठ माणूस पश्चात्तापयुक्त चेहऱ्याने छतापाशी तरंगत होता आणि खाली येण्याचा पुनःपुन्हा प्रयत्न करत होता. "ते औषध घेतले, पण भलतेच परिणाम करून गेले...."

"ते कसे काय?"

"काय सांगू! वजन कमी करण्यासाठी घेतले, पण सारेच वजन नाहीसे झाले!!"

मग मात्र मला सारा उलगडा झाला.

"पायक्राफ्टसाहेब, तुम्हाला **लठ्ठपणा** कमी करावयाचा, पण लठ्ठपणास तुम्ही **वजन** समजलात..."

आणि मग मात्र एकंदर प्रकाराची मला फारच मौज वाटू लागली. पायक्राफ्टबद्दल अनुकंपेबरोबर विनोदी भावनाही निर्माण झाली.

"ते टेबल चांगले वजनदार आहे." पायक्राफ्ट टेबलाकडे बोट दाखवून म्हणाले. "मला जर त्याखाली ठेवता आले तर पहा बरे..."

मी त्यांना खाली ओढून टेबलाखाली कोंबले. एखाद्या पकडून ठेवलेल्या फुग्याप्रमाणे त्यांची अवस्था झाली होती.

"एक मात्र ध्यानात ठेवा. जर तुम्ही खोली सोडून बाहेर गेलात तर उंच, उंच आकाशात जाल..."

"या नव्या परिस्थितीशी धीराने जुळवून घ्या असे मी त्यांना सांगितले.

"पण मला झोपता येणार नाही हो." पायक्राफ्ट खिन्न स्वरात म्हणाले.

सर्व काही शक्य आहे असा मी त्यांना धीर दिला. तारेच्या भक्कम जाळीखाली, पांघरुणाच्या कडेने बटने जोडून ती अडकविल्यास झोपणे शक्य आहे असे सांगितले. घरमालकिणीस विश्वासात घेणे जरूर आहे असेही सुचविले. (पुढे तिने सारा प्रकार मोठ्या विनोदबुद्धीने हाताळला व त्यात मोठेच स्वारस्य घेतले ते वेगळे). एका शिडीच्या सहाय्याने पुस्तकांच्या कपाटावर जेवणाचे ताट ठेवून जेवण देण्याची सोय करण्याची तयारी दर्शविली. **विश्वकोशांचे** खंड कपाटावर ठेवून त्यातले काही पायक्राफ्टनी हातात घेतल्यास ते पाहिजे तेव्हा खाली येऊ शकतील अशी नामी कल्पना मांडली गेली. तेवढ्यात मला आणखी एक शक्कल सुचली. "पायक्राफ्ट, हे सारे करण्याची मुळीसुद्धा

जरूरी नाही. शिशाच्या पत्र्याचे कपडे वापरा, सारा प्रश्न चुटकीसारखा सुटेल. . ."

मग मी त्यांना माझी युक्ती समजावून सांगितली.

"पायक्राफ्ट, शिशाच्या जाड पत्र्याच्या चकत्या कपडयांमध्ये शिवून टाका बुटांना शिशाचे जाड तळ ठोका आणि हातात नेहमी शिसे भरलेली बॅग ठेवीत चला, म्हणजेच तुमची या तुरुंगवासातून सुटका होईल. तुम्ही कुठंही जाऊ शकाल. प्रवासदेखील करता येईल. . ."

तेवढयात, आणखी एक कल्पना माझ्या मनात चमकून गेली.

"पायक्राफ्ट, किती भाग्यवान आहात तुम्ही! बोट बुडाली किंवा फुटली तरी तुम्हाला भिण्याचे कारण नाही. तसे झालेच तर सगळे कपडे काढून मोजक्याच वस्तूंसह सरळ हवेत वर तरंगावयाचे . . ."

वरवर पाहता वरील सारे वर्णन भौतिकशास्त्राच्या नियमांना धरूनच आहे असेच वाटते, पण अनेक आक्षेप घेता येतील.

पहिला म्हणजे, पायक्राफ्टचे वजन जरी नाहीसे झाले तरी तो मुळी-सुद्धा वर जाणार नाही. आर्किमिडीजचा सिद्धान्त जरा आठवा. पायक्राफ्टच्या साऱ्या कपडयांचे आणि खिशातील साऱ्या वस्तूंचे वजन, त्याच्या लठ्ठ शरी-राने दूर सारलेल्या हवेच्या वजनापेक्षा कमी भरले तरच तो हवेत तरंगेल.

तेवढया आकारमानाएवढया हवेचे वजन किती ते सहज ठरविता येईल. आपल्या आकारमानाएवढया पाण्याचे जे वजन तेवढेच आपले वजन म्हणजे सुमारे ६० कि. ग्रॅ. भरते. सर्वसामान्य घनतेची हवा पाण्यापेक्षा ७७० पटींनी हलकी असते. तेव्हा आपल्या शरीरामार्फत जी हवा दूर सारली जाईल तिचे वजन फक्त ८० ग्रॅम होईल. पाय क्रॉफ्ट कितीही लठ्ठ समजले गेले तरी त्यांचे वजन १०० कि. ग्रॅ. पेक्षा जास्त असणार नाही. म्हणजेच त्यांच्या शरीराने दूर सारलेल्या हवेचे वजन १३० ग्रॅमपेक्षा जास्त असणार नाही. त्यांचे कपडे, जोडे, घडयाळ, छोटी बॅग व इतर वस्तू या साऱ्यांचे वजन यापेक्षा कितीतरी जास्त भरेल. म्हणजेच हा लठ्ठ माणूस हवेत न तरंगता जमीनी-वरच राहील. ते थोडेसे लटपटते व अस्थिर राहतील खरे. पण फुग्याप्रमाणे छतापर्यंत नक्कीच जाणार नाहीत. अगदी पूर्णतया नग्नावस्थेत असतील तरच ते शक्य आहे. अंगावर कपडे वगैरे असताना मात्र फुग्यास बांधलेल्या माणसा-प्रमाणे त्यांची स्थिती होईल. व लहानशी उडी मारताच ते हवेत जातील खरे पण हलकेच परत खाली येण्यासाठीच. वाहती हवा मात्र असता कामा नये.

"निरंतर चालणारे" घडयाळ.

या पूर्वी आपण निरंतर गतीयंत्रे व ती शोधण्याचे निरर्थक प्रयत्न

यासंबंधी माहिती वाचलीच आहे. आता मी आपणास "अमानवी शक्तीच्या देणगी"वर चालणाऱ्या यंत्रांसंबंधी सांगणार आहे. त्यामध्ये माणसाची ढवळाढवळ नसते आणि निसर्गमार्फत मिळणाऱ्या अक्षय्य ऊर्जेवर त्यांचे कार्य चालते.

आपण वायुभारमापक पाहिलाच असेल. तो पाऱ्याचा आणि निर्वात अशा दोन प्रकारात असतो. पहिल्या प्रकारात वातावरणाच्या कमीजास्त दाबानुसार पाऱ्याची उंची कमी वा जास्त होते. याच वातावरणीय दाबामुळे निर्वात वायुभारमापकचा काटाही पुढेमागे सरकत राहतो.

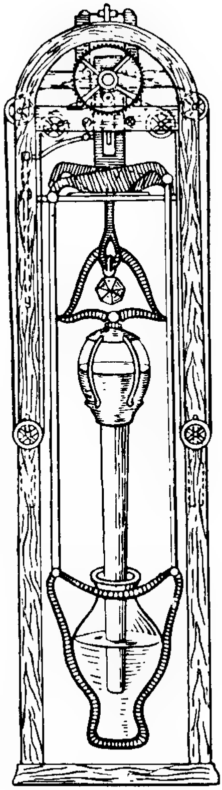
याच आधारावर १८व्या शतकातील एका संशोधकाने कधीच न थांबणारे एक घड्याळ तयार केले. सुप्रसिद्ध इंग्लिश यंत्रज्ञ व खगोलशास्त्रज्ञ जेम्स फर्ग्युसन याने ते पाहिले. पुढील शब्दात त्याने या घड्याळाचे वर्णन केले--

"ते घड्याळ मी पाहिले असता मला असे दिसून आले की मोठ्या गुंतागुंतीपूर्वक बनवलेल्या वायुभारमापकाचा पारा खालीवर होत असे व त्यामुळे घड्याळ अखंडपणे चालू राही. त्यासाठी जरूर ती प्रेरक शक्ती भरपूर प्रमाणात साठविली जात असल्यामुळे घड्याळ बंद पडेल याची शंका येण्याचे काहीच कारण नव्हते. वायुभारमापक जरी काढून घेतले तरी सुद्धा ते संचित ऊर्जेवर वर्षभर चालू राहील. मी ते अगदी बारकाईने तपासले, आणि खरे सांगावयाचे तर आतापर्यंत पाहण्यात आलेल्या सर्व यंत्रांमध्ये हे घड्याळ म्हणजे सर्वात उत्कृष्ट आणि अत्यंत कौशल्यपूर्ण यांत्रिक करामत म्हटली पाहिजे."

दुर्दैवाने हे घड्याळ चोरीस गेले व त्याचे पुढे काय झाले ते कोणालाच माहित नाही. सुदैवाने फर्ग्युसन यांनी त्याच्या काही आकृत्या रेखाटल्या होत्या व त्यामुळेच ते येथे दाखविणे शक्य झाले (आ. ७२).

या घड्याळाच्या यंत्रणेत पाऱ्याचा मोठ्या आकारातील वायुभारमापक असून तो कांचेच्या दोन पात्रांचा मिळून बनविलेला होता. त्यात सुमारे १५० कि. ग्रॅ. पारा होता. एका पात्राचे तोंड दुसऱ्या (खालच्या) पात्रामध्ये गेलेले होते व दोन्ही पात्रे चौकटीत लटकविलेली होती. दोन्ही पात्रे स्वतंत्रपणे हालचाल करू शकत.

वातावरणाचा दाब जेव्हा वाढत असे तेव्हा मोठ्या कौशल्याने बसवण्यात आलेल्या तरफांच्या सहाय्याने वरचे पात्र खाली सरके व खालचे पात्र वर सरके. वातावरणाचा दाब कमी झाला की पात्रांची या उलट हालचाल होई. या हालचालीतून एक छोटसे दातेरी चक्र एकाच बाजूने व दिशने फिरविले जाई. वातावरणाचा दाब स्थिर असताना मात्र ते फिरत नसे. तथापि, या काळात स्थितिज ऊर्जेचा जो संचय होत असे त्यावर घड्याळाची यंत्रणा काम करे. अर्थात, वजने एकाच वेळी वर जाणे व ती खाली पडत



आ. ७२ "निरंतर" चालणारे घड्याळ

असताना स्प्रिंग गुंडाळली जाणे हे काही साधेसुधे काम नव्हते. पण त्याकाळचे घड्याळजी मोठे डोकेबाज म्हटले पाहिजेत. वातावरणाच्या दाबातील फेर-फारामुळे जी ऊर्जा निर्माण होई, तो जरूरीपेक्षा खूपच अधिक होऊन वजने पूर्णपणे खाली जाण्याआधीच वर उचलली जात. वजने वर गेली असता त्यांची हालचाल थांबविण्यासाठी जरूर ती यांत्रिक रचना करण्यात आली होती.

अशा "अमानवी शक्ती" वर व "निरंतर गती" असणाऱ्या यंत्रा-तील मूलभूत फरक अगदी उघड आहे. शून्यातून काही ऊर्जा नर्माण होत नाही, पण निरंतर गतीच्या यंत्रांच्या शोधकांनी तसे वास्तवात उतरविण्याचे स्वप्न बाळगले. बाह्य साधनांमार्फत ऊर्जेचा पुरवठा केला जातो व या विशिष्ट उदाहरणात सभोवतालचे वातावरण कारणीभूत असते. वातावरणात सूर्यप्रका-शाद्वारे ऊर्जा साठविली जाते. प्रत्यक्ष वापराच्या दृष्टीने "निरंतर गतियंत्रा"

पासून जेवढे फायदे मिळतील तेवढेच फायदे "अमानवी शक्तीची देणगी" वापरणाऱ्या यंत्रापासूनही मिळतील – जर ती कधीकाळी शोधली गेली तर आणि फारशी महाग नसतील तर! प्रत्यक्षात ती तशी बहुधा असतातच असतात.

पुढेमागे मी, "अमानवी शक्तीं"वर चालणाऱ्या इतर यंत्रांबाबत आपणाशी चर्चा करीन आणि व्यापारी किंवा व्यावहारिकदृष्टचा ती कधीच फायदेशीर का ठरणार नाहीत ते स्पष्ट करीन.

ऑक्टोबर रेल्वेमार्गाची लांबी जास्त केव्हा भरते?

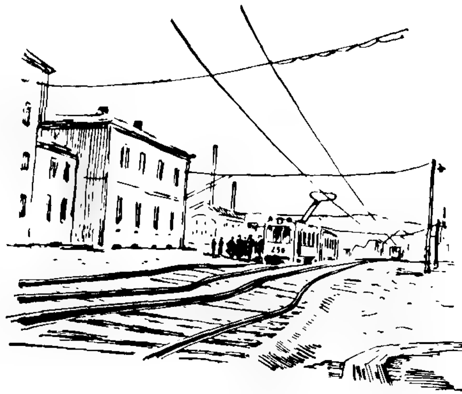
ऑक्टोबर रेल्वेमार्गाची लांबी किती आहे असे विचारल्यावर एकाने पुढीलप्रमाणे उत्तर दिले: "तो सरासरी ६४० कि. मी. लांब आहे, पण उन्हाळ्यात त्याची लांबी सुमारे ३०० मीटरने जास्त भरते."

हे उत्तर वाटते तेवढे विचित्र नाही. अंतर म्हणजे रूळांची लांबी असे लक्षात घेतल्यास, हिवाळ्यापेक्षा उन्हाळ्यात ती खचितच जादा लांब हवी. उष्णतेमुळे पोलादी रूळ प्रसरण पावतात हे विसरू नका. दर अंश सेल्सिअस तपमानास लांबी एक-लक्षांशाने किंवा जास्तच वाढते. भर उन्हाळ्यात रूळांचे तपमान ३०–४० अंश सें. पर्यंत सहज चढते, हात लावला तर चटकाही बसेल. हिवाळ्यात ते शून्याखाली २५ अंशापर्यंत किंवा त्यापेक्षाही कमी होते. हिवाळ्या-उन्हाळ्यातील फरक ५५ अंश समजल्यास, रेल्वेमार्गाची या तपमानातील लांबी —

$$६४० \times ०.००००१ \times ५५ = ०.३५२ \text{ कि. मी.}$$

म्हणजेच सुमारे एक-तृतीयांश कि मी. वाढते. तेव्हा हिवाळ्यापेक्षा उन्हाळ्यात मॉस्को-लेनिनग्राद रेल्वेमार्ग सुमारे ३५२ मी. ने अधिक लांब ठरतो.

हे लक्षात घ्यावयास हवे की, रेल्वेमार्गाची लांबी बदलत नाही, तर जे रूळ मार्गावर टाकलेले असतात त्या सर्वांची एकत्रित लांबी बदलते. त्यामध्येही एक फरक असा की, रूळ एकमेकास अगदी खेटून नसतात तर त्यांच्या प्रसरणास जागा (माया) रहावी म्हणून सांध्यामध्ये अंतर ठेवलेले असते. (आठ मीटर लांबीच्या रूळांमध्ये शून्य अंश तपमानास ६ मि. मी. याप्रमाणे अंतर सोडणे जरूर असते. रूळ एकमेकांना पूर्ण चिकटण्याइतपत त्यांचे प्रसरण होण्यासाठी ६५ अंश से. तपमान हवे. ट्रामगाड्यांच्या रूळांमध्ये मात्र काही तांत्रिक कारणांसाठी अशा जागा ठेवता येत नाही. ते जमीनीत पक्के बसविलेले असल्यामुळे तपमानातील फेरफार विशेष नसतात. शिवाय मोटाल्या खिळ्यांनी पक्के करण्याच्या तंत्रामुळेही ते वेडेवाकडे होण्याची भीती नसते. तथापि, कडक उन्हाच्या दिवशी ते जरूर वेडेवाकडे होण्याची शक्यता असते. आ. ७३ मध्ये असे एक उदाहरण दाखविले आहे. असाच प्रकार रेल्वेमार्गाच्या रूळाबाबतही घडणे शक्य असते. उतारावर



आ. ७३ कडक उन्हात ट्रामचे रूळ
वेडेवाकडे होतात.

गाडी रूळांना पुढे खेचते व कधीकधी तळपाटाच्या लाकडासह रूळ खेचले जातात. परिणामी, रूळांमध्ये सोडलेल्या जागा मिटतात आणि एक रूळ दुसऱ्यावर सरळ चढतात. या संबंधात मांडलेले गणित असे दाखविते की, एकूण जेवढी मोकळी जागा सोडलेली असते तेवढे प्रसरण सर्व रूळांचे मिळून होते. वरील उदाहरणात हिवाळ्यापेक्षा उन्हाळ्यात सुमारे ३५० मी. नी लांबी वाढलेली दिसून येत आहे. सारांश, ऑक्टोबर रेल्वेमार्गावरील रूळांची एकूण लांबी हिवाळ्यापेक्षा उन्हाळ्यात ३५० मी. नी अधिक भरते.

चोरी, पण शिक्षा नाही.

प्रत्येक हिवाळ्यात, मॉस्को-लेनिनग्राद दूरवाणी मार्गावर महागड्या अशा तारेची "चोरी" होते. पण त्याबाबत कोणालाही खंत नसते. चोर कोण आहे ते प्रत्येकालाच ठाऊक असते. आपणालादेखील त्याची कल्पना आलीच असेल. हा चोर दुसरातिसरा कोणी नसून त्यावेळी पडणारा बर्फ हाच असतो. रेल्वेच्या रूळांबाबत जी परिस्थिती तीच या तारेबाबत असते. फरक एवढाच की, दूरवाणीच्या तांब्याच्या तारा तापल्या असता पोलादापेक्षा दीडपटीने जास्त प्रसरण पावतात. या तारांमध्ये रूळाप्रमाणे जागा सोडलेली नसल्यामुळे आपण निश्चितपणे म्हणू शकतो की, मॉस्को-लेनिनग्राद दूरवाणीची तार उन्हाळ्यापेक्षा हिवाळ्यात ५०० मी. ने नक्कीच कमी लांबीची भरते. प्रत्येक हिवाळ्यात सुमारे अर्ध्या कि. मी. तारेची नकळत "चोरी" होते.

पण त्यामुळे दळणवळणात व्यत्यय मात्र अजिबात येत नाही. जेवढ्या तारेची "चोरी" होते तेवढीच तार उन्हाळा येताच तत्परतेने परतही केली जाते. असा "चोर" विरळाच !

एफेल मनोऱ्याची ऊंची किती ?

आता जर आपणास विचारण्यात आले की, फरान्समधल्या प्रसिद्ध अशा एफेल मनोऱ्याची उंची किती ? तर "३०० मीटर" असे उत्तर देण्यापूर्वी, "कोणत्या ऋतूतील उंची पाहिजे ?" असा प्रतिप्रश्न आपण बहुदा कराल. हे तर उघडच आहे की, एवढ्या प्रचंड पोलादी मनोऱ्याची उंची वेगवेगळ्या तपमानात मुळीच एकसारखी नसणार. आपणास ठाऊक आहे की, ३०० मी. लांबीची पोलादी सळई, तपमानात १ अंश से. ने वाढ केल्यास ३ मि. मी.ने प्रसरण पावते. पॅरिसमधल्या उन्हाळी हवामानात मनोऱ्याचा पोलादी सांगाडा ४० अंश से. पर्यंत तापतो आणि एखाद्या पावसाळ्यातील दिवशी हेच तपमान १० अंशांपर्यंत खाली उतरते. हिवाळ्यात तर तपमान शून्य अंशापर्यंत व कधी कधी उणे १० अंशांपर्यंत खाली येते. (पॅरिसमध्ये जोरदार हिमवृष्टी क्वचितच आढळते). म्हणजेच तपमानातील सरासरी फेरफार ४० अंश किंवा त्यापेक्षा जास्त असतो. याचा अर्थ असा की एफेल मनोऱ्याची उंची, ३ × ४० = १२० मि. मी. = १२ सें. मी. कमीजास्त राहते.

प्रत्यक्ष मोजमापातून असे निष्पन्न झाले आहे की, तपमानातील फेरफारांबाबत हा मनोरा हवेपेक्षाही अधिक संवेदनशील आहे. तो फार जलद तापतो किंवा थंड होतो आणि ढगाळ हवामानात सूर्य एकाएकी प्रकाश लागताच त्यावर त्वरीत परिणाम होतो. मनोऱ्याच्या उंचीतील फरक जाणून घेण्यासाठी निकेलयुक्त पोलादी तार वापरली जाते. अशा तारेवर तपमानातील फेरफारांचा अजिबात परिणाम होत नाही असे म्हटले तरी चालेल. या मिश्रधातूस "इन्व्हार" असे नाव असून इंग्रजीतील "इन्व्हेरिएबल" म्हणजे "न बदलणारा" या अर्थाच्या शब्दापासून ते तयार केलेले आहे.

थोडक्यात, उन्हाळ्याच्या दिवसात एफेल मनोरा हिवाळ्यापेक्षा सुमारे १२ सें. मी. अधिक उंच ठरतो. अखेर तो लोखंडाचाच असल्यामुळे कोणाचा चार पैसे तोटा किंवा फायदा होतो असा मात्र मुळीच प्रकार नाही.

चहाचा पेला ते जलमापक

चहाच्या पेल्यात —विशेषत: काचेच्या— चहा ओतण्यापूर्वी अनुभवी गृहिणी त्यात एक चमचा —शक्यतो चांदीचा— ठेवते व पेला तडकण्याचे टाळते. दीर्घ अनुभवातूनच हा उपाय सुचलेला आहे.

पण त्यामागील मूलभूत कारण कोणते? गरम पाण्यामुळे पेला का तडकावा?

काचेचे असमान प्रसरण होते म्हणून. जेव्हा आपण काचेच्या पेल्यात गरम पाणी ओततो तेव्हा बाजू लगेच तापत नाहीत. आतील बाजू प्रथम गरम होते पण बाहेरील बाजू थंडच राहते. आतील तापलेली बाजू लगेच प्रसरण पावते. त्या अवधीत बाहेरील बाजू प्रसरण पावत नसल्यामुळे तीवर आतील बाजूने तीव्र ताण निर्माण होतो. परिणामी काच तडकते.

तर मग जाड बाजूंचा पेला वापरून हे टाळता येईल असे सकृतदर्शनी वाटेल. पण ती अगदीच चुकीची समजूत ठरेल. पातळ काचेच्या पेल्यापेक्षा जाड बाजू असणारा पेलाच अधिक लवकर तडकेल. पातळ बाजूंचा पेला म्हणजेच त्याच्या पातळ बाजू जलद तापतात. या उलट, जाड काचेचा पेला सावकाश गरम होतो.

पातळ काचेच्या वस्तू घेताना एक खबरदारी जरूर घ्यावयास हवी. वस्तूच्या बाजू जेवढ्या पातळ असतील तेवढेच त्यांचे तळही पातळ हवेत; कारण तळच प्रामुख्याने गरम होतो. बाजू कितीही पातळ असल्या तरी जाड तळाचे पात्र तडकणारच.

काचपात्र जेवढे पातळ तेवढे ते तापविण्यास सोयीस्कर ठरते. रसायनशास्त्रज्ञ अगदी पातळ काचेची पात्रे वापरतात आणि सरळ ज्योतीवर ठेवून त्यातील पाणी उकळवितात.

तापविले तरीही अजिबात प्रसरण न पावणारे काचपात्र आदर्श ठरते. पारदर्शक क्वार्टझ्चे जाड बाजूंचे पात्र तापविले तरी कधीच तडकणार नाही, अगदी तप्त पात्र बर्फाच्या चुऱ्यात बुडविले तरीसुद्धा! (क्वार्टझ् १७०० अंश सें. तपमानास वितळत असल्यामुळे प्रयोगशाळेत क्वार्टझ्ची पात्रे फार उपयुक्त ठरतात). याचे दुसरे एक कारण असे आहे की, साध्या काचेपेक्षा क्वार्टझ् उष्णतेचे वहन फार उत्तम प्रकारे करते.

काचपात्रे चटकन गरम झाल्यासच तडकतात असे नसून चट्‌दिशी थंड केल्यासही फुटतात. यावेळी असमान आकुंचन जबाबदार असते. थंड होतेवेळी बाहेरील बाजू आकुंचन पावते व आतल्या बाजूवर तीव्र ताण देते. यावेळी ही आतली बाजू पुरती आकुंचन पावलेली नसते. म्हणूनच दक्ष गृहिणीने मोरंब्याची गरम बरणी एकदम थंड जागेत किंवा थंड पाण्यात बुडविणे इष्ट नाही.

परत त्या चमच्याकडे वळूया. काचेचा पेला तडकण्यापासून हा चमचा

कसे काय रक्षण करतो? जेव्हा आपण पेल्यात अतिउष्ण पाणी ओततो तेव्हाच त्याच्या आतील व बाहेरील बाजूंचे प्रसरण अतिशय असमान होते. गरम पाण्याने पेले तडकत नाहीत. चहाचा चमचा पेल्यात ठेवल्यामुळे काय बदल होतो? तर गरम पाण्यातील बरीचशी उष्णता या धातूच्या चमच्या-मार्फत शोषली जाते. काचेच्या तुलनेने तो उष्णतेचे चांगल्या प्रकारे वहन करू शकतो. त्यामुळे पाण्याचे तपमान उतरते. आणि दुष्परिणाम टळतो. यावेळेपावेतो पेला तापतो आणि अधिक उष्ण पाण्याने तो तडकण्याची भीती उरत नाही.

थोडक्यात, चांगल्या जाड चमच्यामुळे पेल्याचे असमान प्रसरण होण्याचा धोका टळून तो तडकण्याची भीती उरत नाही.

या कामासाठी चांदीचाच चमचा का चांगला? याचे कारण असे की, चांदीच्या अंगी उच्च उष्णतावाहकता आहे. असा चमचा तांब्याचे चमच्या-पेक्षा अधिक लवकर उष्णता वाहून नेतो. यावेळी तो हातास चटका बसण्या-इतपत तापतो. तांब्याचा चमचा एवढा तापत नसल्यामुळे, निव्वळ स्पर्शाने चमचा कोणत्या धातूचा आहे हे सहज ओळखता येईल.

काचपात्राच्या बाजूंचे असमान प्रसरण ही रोजच्या वापरातील साहित्या-पुरतीच डोकेदुखी नसून बाष्पपात्रातील जलमापक उपकरणाच्या बाबतीतही हीच गोष्ट आहे. या उपकरणात काचेच्या नळ्या असून गरम वाफेने व पाण्याने जेव्हा त्या तापतात तेव्हा त्यांच्या आतील बाजू, बाहेरील बाजू-पेक्षा खूपच जास्त गरम होतात. यातच मोठ्या दाबाचीही भर पडते. ही गोष्ट ध्यानी घेता या नळ्या वेळोवेळी सहजगत्या का फुटतात ते लगेच ध्यानात येईल. हे टाळण्यासाठी या नळ्या दोन थरांच्या बनविल्या जातात. आतल्या थरासाठी कमी प्रसरण पावण्याचा गुणधर्म असणारी काच वापरली जाते, तर बाह्य थरासाठी या उलट गुणधर्माच्या काचेचा वापर होतो.

स्नानगृहातील पादत्राणे

"हिवाळ्यात दिवस लहान व रात्र मोठी का, आणि उन्हाळ्यात या उलट परिस्थिती का असावी?" "इतर सर्व पदार्थांप्रमाणे हिवाळ्यात दिवस आकुंचन पावतो व दिवसाच्या अखेरीस दिवे व शेगड्या पेटविल्या जात असल्यामुळे त्या उष्णतेमुळे रात्र प्रसरण पावते." रशियन लेखक अन्तोन चेखव्हच्या एका कथेतील डॉन कोसॅक सैनिकांच्या तुकडीने दिलेले हे "स्पष्टी-करण" केवढे विनोदी व मूर्खपणाचे आहे! पण गंमत अशी की याची थट्टा करणारे लोक स्वतः कधी कधी तितकीच हास्यास्पद विधाने करताना आढळ-

तात. "अंघोळीनंतर गरम पाण्याने पायाचा आकार वाढला आणि त्यात चप्पल जाईनाशी झाली." अशा आशयाची गोष्ट ऐकली आहे का? मोठी विलक्षण घटना खरी, पण स्पष्टीकरण मात्र ठाम चुकीचे.

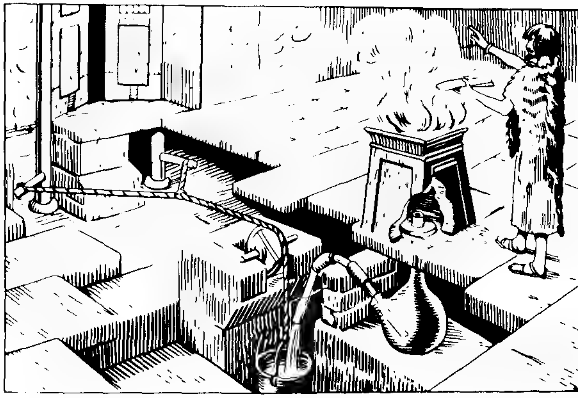
पहिला मुद्दा म्हणजे न्हाणीघरात स्नान करणाऱ्या व्यक्तीच्या शरीराचे तपमान एका अंशापेक्षा क्वचितच जास्त वाढते. अंघोळीच्या "टर्किश बाथ" या प्रकारातही फार तर दोन अंशाने वाढते. आपल्या शरीरामार्फत सभोवताली असणारी उष्णता उत्तम प्रकारे रोखून धरली जाते व शरीराचे तपमान निश्चित मर्यादेपर्यंत राखले जाते. तसेच या "जादा" तपमानामुळे शरीराचे आकारमान एवढ्या नगण्य प्रमाणात वाढते की, पायातील बूट किंवा चप्पल त्यामुळे निघू शकत नाही असा अनुभव कधीच येणार नाही. आपल्या हाडांचा आणि मांसाचा प्रसरणांक एक-दहा हजारांशाच्या केवळ क्षुल्लक भागाएवढा असतो. शिवाय आपली पादत्राणे एवढ्या काटेकोरपणे कधीच शिवली जात नाहीत. अखेर एक-शंभरांश सें. मी. म्हणजे अवघी केसाएवढी जाडी!

पण अंघोळीनंतर बूट घालणे काहीसे अवघड भासते हे खरेच. उष्णतेमुळे पायांचे प्रसरण होते म्हणून नव्हे, तर रक्त पायांकडे जास्त प्रमाणात धाव घेते, त्वचा फुगते आणि मृदु व दमट बनते म्हणून. या कारणांचा उष्णतेमुळे होणाऱ्या प्रसरणाशी मुतराम संबंध नाही हे सांगण्याची आवश्यकता भासत नाही.

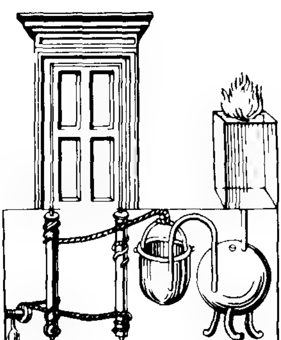
चमत्कार

अलेक्झांदर हिरोन नामक ग्रीक गणिती व यंत्रविशारदाचे नाव आपण ऐकले असेलच. त्याने शोधलेले कारंजे त्याच्याच नावाने ओळखले जाते. हीरोनसंबंधित कागदपत्रांमध्ये दोन धूर्त पद्धतींचे वर्णन आढळून येते. त्यांच्या आधारे इजिप्शियन धर्मगुरू आपल्या भक्तगणांचा चमत्कारांवरील विश्वास कायम टिकविण्यासाठी काही क्लुप्त्या करून दाखवत असत.

आ. ७४ मध्ये त्यापैकी एक क्लुप्ती पहावयास मिळेल. मंदिराच्या दारासमोर आतून पोकळ अशी यज्ञवेदी ठेवलेली असून दारे उघडणारी यंत्रणा जमिनीखाली लपवून ठेवलेली आहे. यज्ञवेदीत धूपदीप जाळला असता पोकळीतील हवा तापते व तिचा जमिनीखालच्या पात्रातील पाण्यावर मोठा दाब निर्माण होतो. या दाबामुळे पाणी एका नलिकेतून नजिकच्या बादलीत पडते व ती खाली जाऊ लागताच दारे उघडण्याची यंत्रणा कार्यान्वित होते (आ. ७५ पहा). धर्मगुरूने धूपदीपासह प्रार्थना म्हणताच मंदिराची दारे आपोआप



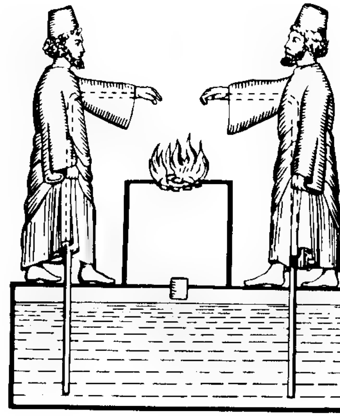
आ. ७४ इजिप्शियन देवळातील 'चमत्कारा'चा खुलासा. वेदीवर धूप जाळताच दारे उघडतात.



आ. ७५
देवळाची दारे कशी उघडतात ते स्पष्ट करणारी आकृती. (आकृती ७४ शी तुलना करा.)

उघडतात. हे पाहून भक्तगण चकितच होतो. त्यांना अर्थातच जमिनीखाली दाब यास कारणीभूत असल्याचे दर्शविले होते. आता अशाच एका दुसऱ्या घड्याळाची माहिती देत असून, ते उष्णतेमुळे होणाऱ्या प्रसरणावर आधारलेले आहे. आ. ७७ मध्ये त्याची रचना पहावयास मिळेल. त्याचा प्रमुख भाग

आ. ७६
प्राचीन धर्मगुरूंची आणखी एक फसवेगिरी. धूप, इ. अविरतपणे यज्ञकुंडात कसा पडतो.



लपविलेल्या यंत्रणेबाबत काहीच कल्पना नसते.

दुसरा एक "चमत्कार" किंवा फसवणुकीचा प्रकार आ. ७६ दाखविला आहे. धूपदीप जाळल्यामुळे हवा प्रसरण पावून जमिनीखाली दडविलेल्या टाकीतील पाण्यावर दाब निर्माण होतो. या टाकीस जोडलेल्या नलिका धर्मगुरूंच्या प्रतिमांमधून बाहेर आलेल्या असतात. दाबामुळे टाकीतील हवेचा झोत या नलिकांमार्फत ज्वालांवर पडत राहतो आणि न विझणाऱ्या ज्योतींचा चमत्कार भक्तांना पहावयास मिळतो. धर्मगुरूस देणगी जेव्हा कमी वाटे, तेव्हा तो नकळत टाकीचे बूच काढून टाके. यामुळे जादा हवेस वाट मिळून ज्योतीवर टाकीतील हवेचा झोत पडणे बंद होत असे. "परमेश्वर" भक्तावर नाराज असल्याची ती खूण असते.

आपोआप चावी मिळणारे घड्याळ

मागील प्रकरणाच्या अखेरीस मी आपणाला आपोआप चावी मिळणाऱ्या घड्याळाविषयी सांगितले असून वातावरणाचा कमीजास्त होणारा म्हणजे Z_1 व Z_2 या दोन खास मिश्रधातूच्या सळ्या असून त्यांचा प्रसरणांक खूपच जास्त असतो. "प्रसरणा"मुळे, Z_1 हा दांडा X या दातेरी चक्राच्या दात्यात अटकून त्यास फिरवितो. "आकुंचना"मुळे Z_2 दांडा Y या दातेरी चक्राचे दात्यात अटकून त्यास समान दिशेनेच फिरवितो. X आणि Y ही दोन्ही दातेरी चक्रे W_1 या आसावर बसविलेली असून त्यावरच बसविलेले मोठे व वाटिका असणारे चाकही फिरविले जाते. या वाटिकांमार्फत तळाशी असणाऱ्या तिरप्या पात्रातील पारा वर उचलला जातो व उलट दिशेने उतार

असणाऱ्या वरच्या पात्रात टाकला जातो. त्यातून तो घसरत डावीकडच्या चक्रावरील वाट्यात पडतो आणि ते चाक फिरविले जाते. हे मोठे चाक W_2 या आसावर बसविले असून त्याच आसावर K_1 हे लहान चाकही बसविलेले असते. त्याभोवती व K_2 या दुसऱ्या लहान चाकाभोवती गुंडाळलेली KK ही साखळीही फिरविली जाते. K_2 चाकाच्या फिरण्यामुळे घड्याळास चावी मिळते. दरम्यान, डावीकडच्या चाकावरील वाट्यांतील पारा परत खालच्या R_1 पात्रात पडतो आणि तो उजवीकडे असणाऱ्या चाकाखाली जमतो. याप्रमाणे सर्व क्रियांचे चक्र पुनःपुन्हा चालू राहते.

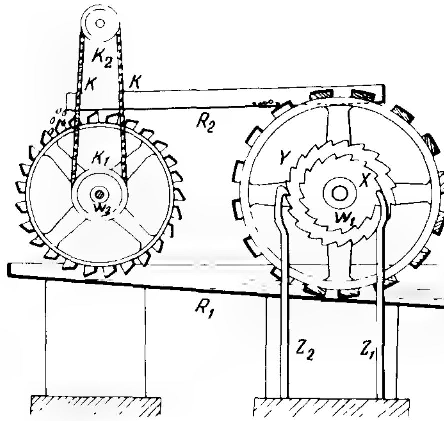
Z_1 व Z_2 हे दोन दांडे प्रसरण व आकुंचन पावत राहतील आणि घड्याळ टिकटिक करीत राहील. घड्याळास चावी बसण्यास जर काही हवे असेल तर हवेच्या तपमानात आलटून पालटून होणारी वाढ व घट हवी असते, व त्यासाठी आपली जरूरी नाही. तर मग हे घड्याळ निरंतर गतीवर चालणारे आहे असे आपणास म्हणता येईल काय ? निश्चितच नाही. घड्याळाची यंत्रणा झिजेपावेतो घड्याळ चालू राहील पण ते चालू राहण्यास सभोवतालच्या हवेची उष्णता कारणीभूत असते. औष्णिक प्रसरणाच्या कार्यातील ऊर्जा घड्याळ साठविते आणि ती क्रमाक्रमाने काटे फिरविण्यात खर्च करते. हे खरे पाहता अमानवी शक्तीची देणगी असणारे यंत्र असून त्यास आपल्या देखभालीची वा खर्चाची जरूरी नाही. सूर्याची उष्णता हे त्याचे मूळ शक्तिसाधन असून त्यामुळे पृथ्वी व तिचे वातावरण तापते.

आपोआप चावी बसणाऱ्या घड्याळाचा आणखी एक नमुना आ. ७८ व ७९ मध्ये दाखविला असून त्यामध्ये प्रमुख भाग ग्लिसरीनचा आहे. त्याची रचना वरीलप्रमाणेच आहे. हवेच्या वाढत्या तपमानामुळे ग्लिसरीन प्रसरण पावते व त्यामुळे एक लहानसे वजन वर उचलले जाते. या वजनाच्या खाली येण्यामुळे घड्याळास चावी बसून ते चालू राहते. ग्लिसरीन —३० अंश से. तपमानास घट्ट होते व २९० अंश से. तपमानास उकळते. यामुळे ही यंत्रणा शहरातील सार्वजनिक घड्याळांसाठी उपयुक्त आहे. तपमानातील दोन अंशांचा फेरफार या घड्याळासाठी पुरेसा ठरतो. असे एक घड्याळ प्रयोग म्हणून वर्षभर वापरण्यात आले व ते समाधानकारक ठरले.

अशा प्रकारची मोठाली यंत्रे बनवून काही फायदा मिळविणे शक्य होईल का ? सकृत्‌दर्शनी असे अमानवी शक्तीचे यंत्र मोठे काटकसरीचे वाटेल. तसे ते खरोखरीच असते का ते पाहूया. एखादे नेहमीचे घड्याळ २४ तास चालू ठेवण्यास जी चावी दिली जाते त्यासाठी $\frac{१}{७}$ कि. ग्रॅ. एवढीच ऊर्जा लागते. ती फक्त दर सेकंदास साधारणतः $\frac{१}{६०००००}$ कि. ग्रॅ.-मी. भरते.

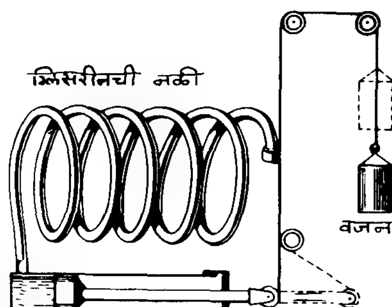
आ. ७७

आपोआप चावी भरणाऱ्या घड्याळाची रूपरेखा.



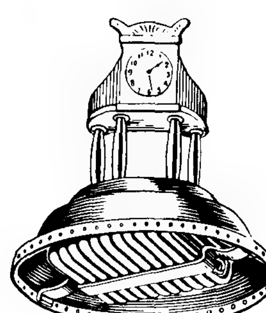
आ. ७८

आपोआप चावी भरणाऱ्या आणखी एका घड्याळाची आकृती.



आ. ७९

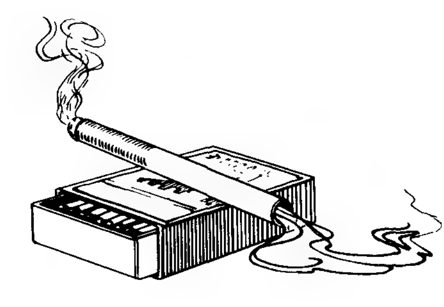
आपोआप चावी भरणारे घड्याळ, ग्लिसरिन भरलेल्या नळ्या घड्याळाच्या पायात लपविल्या जातात.



एक अश्वशक्ती म्हणजे ७५ कि. ग्रॅ. मी / से. असे ध्यानात घेता एका घड्याळाच्या यंत्रणेस लागणारी कार्यशक्ती केवळ $\frac{१}{४५०००००००}$ अश्वशक्तीइतकी भरते. जर पहिल्या प्रकारच्या घड्याळातील सळ्यांसाठी किंवा दुसऱ्या प्रकारातील साहित्यासाठी १ कोपेक खर्ची पडतो असे गृहित धरल्यास एक अश्वशक्ती निर्माण करण्यासाठी ४५,०००,००० कोपेक किंवा ४५०,००० रूबलची गुंतवणूक करणे आवश्यक आहे. अमानवी शक्तीची देणगी वापरणाऱ्यांना यंत्राच्या एका अश्वशक्तीसाठी सुमारे पाचएक लाख रूबलचा खर्च, माझ्या मते गैरवाजवीच वाटतो.

शैक्षणिक सिगरेट

आ. ८० मध्ये एक सिगरेट एका काड्यापेटीवर ठेवलेली दिसत असून तिच्या दोन्ही टोकांकडून धुराची वलये येताना दिसत आहेत. पण एकीकडची वलये **वरच्या दिशेने** जात आहेत तर दुसऱ्या टोकाकडील **खालच्या बाजूने**. असे का? खरे तर दोन्ही टोकांकडील धूर हा धूरच नव्हे काय? आहे खरा, पण धुमसणाऱ्या (जळणाऱ्या) टोकाकडे वरच्या दिशेने जाणारा उष्ण हवेचा प्रवाह असून तो धुराचे कण वरच्या दिशेने नेत आहे. तोपावेतो सिगरेटमधून वाहणारी हवा थंड होऊन वर जाऊ शकत नाही आणि धुराचे कण हवेपेक्षा जड असल्यामुळे ते खाली तरंगतात.

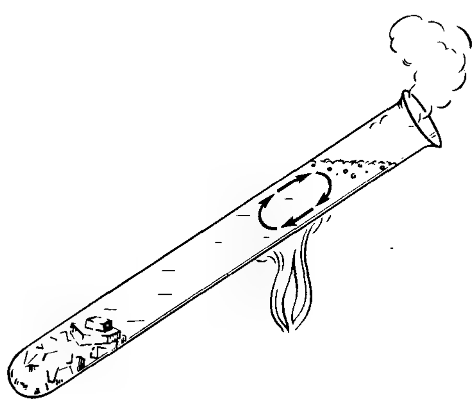


आ. ८० धूर, एका टोकाकडून वरच्या दिशेने व दुसऱ्या टोकाकडून खालच्या दिशेने का जातो?

उकळत्या पाण्यात न वितळणारा बर्फ

एक परीक्षानळी घ्या, तीमध्ये पाणी भरा व त्यात बर्फाचे तुकडे टाका. बर्फ नेहमीच पाण्यावर तरंगतो, तो पाण्याखाली राहण्यासाठी छोट्या वजनांचा वापर करा. आता पाणी बर्फावर राहील. ज्योतीवर परीक्षानळी अशा-प्रकारे धरा की फक्त वरचा भाग तापत राहील (आ. ८१ पहा). थोड्याच अवधीत पाणी उकळू लागेल व वाफा बाहेर पडण्यास सुरुवात होईल; पण तळचा बर्फ मात्र न वितळता जशाचा तसा पाहून आपणास जरूर आश्चर्य वाटेल. उकळत्या पाण्यात न वितळणारा बर्फ—एक गमतीशीर चमत्कारच म्हटला पाहिजे.

यामागची "जादू" ही की, तळचे पाणी मुळी उकळतच नाही, ते **थंडच** राहते. प्रत्यक्षात "उकळत्या पाण्यामध्ये बर्फ" नसून उकळत्या पाण्या-खाली तो आहे. उष्णतेमुळे प्रसरण पावून पाणी हलके होते व ते तळाशी न जाता नळीच्या वरच्या भागातच राहते. तेथे गरम पाणी असून गरम व थंड पाण्याचे थर नळीच्या फक्त वरच्या भागातच आहेत. वहनक्षम पदार्था-तून उष्णता वाहून नेली जाते खरी, पण पाणी उष्णतेचे निकृष्ट वाहक आहे.



आ. ८१ वरच्या भागातील पाणी उकळते
पण तळचा बर्फ वितळत नाही.

बर्फावर की बर्फाखाली ?

आपणास पाणी तापवावयाचे असते तेव्हा आपण भांडे बरोबर ज्योतीवर ठेवतो, ज्योतीच्या बाजूने नव्हे. हे अगदी योग्यच आहे. कारण गरम झालेली हवा हलकी बनते व भांड्याच्या खालच्या बाजूने बाहेर पडून भांड्याभोवती **वरच्या बाजूस** लपेटली जाते. अशाप्रकारे तापविली जाणारी वस्तू अगदी बरोबर ज्योतीवर ठेवून उष्णतेचे निर्मितीस्थान अत्यंत फायदेशीरपणे वापरले जाते.

पण बर्फाच्या सहाय्याने काहीतरी थंड करण्यासाठी काय केले पाहिजे ? अनेकजण थंड करावयाची वस्तू--उदा. दूध--बर्फावर ठेवतील. असे करणे चुकीचे आहे, कारण बर्फावरील हवा थंड होताच ती **खाली जाते** व तिची जागा सभोवतालची गरम हवा घेते. तेव्हा थंड करावयाची वस्तू **बर्फावर ठेवू नका, बर्फच त्या वस्तूवर ठेवा.**

हा मुद्दा मला अधिक स्पष्ट करावयाचा आहे. जेव्हा आपण पाण्याचे भांडे बर्फावर ठेवतो तेव्हा फक्त खालचाच थर थंड होतो. उर्वरित पाण्या-भोवती थंड झालेली हवा राहते. पण भांड्यावर ताटली किंवा झाकण ठेवून **त्यावर** बर्फ ठेवला तर पाणी अधिक वेगाने थंड होईल. वरचे थंड झालेले थर खाली जातील, त्यांची जागा खालून वर येणारे गरम थर घेतील. सर्व पाणी थंड होईपर्यंत ही क्रिया चालू राहील. (लक्षात ठेवा की, शुद्ध पाणी शून्य अंशास थंड होत नसून ४ अंश से. तपमानास थंड होते. या तपमानात पाण्याची घनता अत्यधिक असते. खरे तर आपण शून्य अंशापर्यंत पाणी, इ. कधीच थंड करीत नाही). या क्रियेच्या दरम्यान बर्फाभोवतालची थंड हवा पण खाली सरकून भांड्याभोवती लपेटली जाईल.

बंद खिडकीतून वाऱ्याचा झोत का येतो ?

एखादी खिडकी जरी व्यवस्थितपणे बंद केलेली असली व ती कुठेच फुटलेली किंवा तडे गेलेली नसली तरी तीमधून वाऱ्याचा झोत वा प्रवाह येत आहे अशी जाणीव होते. हे काहीसे विचित्र वाटेल पण त्यात आश्चर्य वाटण्याजोगे काहीच नाही.

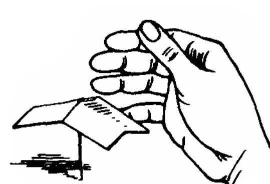
खोलीतील हवा कधीच स्थिर नसते. ती गरम किंवा थंड होते व त्यानुसार अदृश्य प्रवाह वाहतच असतो. हवा गरम झाली तर ती विरल होऊन हलकी बनते; ती थंड झाली तर वजनदार होऊन जड बनते. खिडक्या व भिंतीनजीकची थंड व जड हवा जमिनीकडे उतरते व गरम, हलक्या हवेस छताच्या दिशेने ढकलते. एखादे खेळण्यातले विमान हे अभिसरण उत्तम प्रकारे दाखवेल. मध्यभागी हे विमान तरंगते राहील एवढे एक छोटेसे वजन

त्यास बांधा व स्टोव्ह किंवा शेगडीपासून ते सोडून द्या. असे दिसेल की, अदृश्य प्रवाहामुळे ते शेगडीपासून छतापर्यंत आणि खिडकीच्या दिशेने जाईल आणि तेथून खाली येत पुन्हा स्टोव्हच्या दिशेने जाईल. या ठिकाणाहून ते परत पूर्वीच्याच प्रवासास निघेल. म्हणूनच आपणास खासकरून पायांनजिक हवेचा झोत जाणवतो. थंडीत खिडकी घट्ट बंद केलेली असली तरीसुद्धा.

कागदाचे गूढ फिरणे

एखादा पातळसा कागद घेऊन त्याचा लांबट चौकोन तयार करा व मध्यभागावर उभी व आडवी घडी घाला. नंतर ते उलगडून सरळ करा. या घड्यांमुळे त्याचा गुरुत्वमध्य कोठे आहे ते कळेल. आता एक लांब टाचणी घेऊन ती टेबलावर सरळ उभी पक्की करा आणि तीवर बरोबर गुरुत्वमध्याशी कागद ठेवा. येथपर्यंत कोणतेच गूढ घडलेले नाही. आता कागदाजवळ, आ. ८२ मध्ये दाखविला आहे तसा हात धरा. हे अगदी हल-केच व सावकाश करावयास हवे, नाहीतर हवेच्या धक्क्याने कागद उडून जाईल. कागद गोलगोल फिरण्यास सुरुवात होईल. सुरुवातीस तो सावकाश फिरेल, पण नंतर वेग घेईल. हात बाजूला घेतला की फिरणे थांबेल.

या गूढ फिरण्यामागे एकेकाळी म्हणजे १८७० च्या सुमारास अशी कल्पना प्रसृत झाली की आपल्या शरीरात एखादी गूढ, दैवी शक्ती असावी. गूढविद्यावाद्यांना तर यामुळे असेच वाटले की, मानवी शरीरात काही चम-त्कारिक द्रवपदार्थ असावा ह्या आपल्या विचारास चांगलाच आधार मिळत आहे. खरे पाहता वरील प्रकारात अनैसर्गिक किंवा गूढ असे काहीच नसून तो एक अगदी साधा प्रकार आहे. जेव्हा आपण हात कागदाजवळ नेतो तेव्हा नजिकची हवा गरम होऊन वर उचलली जाते. ती कागदास ढकलते व तो फिरू लागतो. तो फिरतो कारण त्यास किंचितशा घड्या पडलेल्या असतात म्हणून.



आ. ८२ हा कागदाचा तुकडा का फिरावा ?

कागदाचे फिरणे बारकाईने पाहिले तर लक्षात येईल की, तो एकाच दिशेने म्हणजे मनगटाकडून बोटांच्या टोकांकडे फिरतो. याचे कारण असे की, तळहातापेक्षा बोटांची टोके अधिक थंड असतात. जर अंगात खूपसा ताप असेल तर त्यावेळी कांगद अधिक जोरात फिरताना दिसेल आपणास ऐकावयास मौज वाटेल की, या फिरण्याने पूर्वी अनेकांना घोटाळ्यात टाकले होते आणि मॉस्को मेडिकल सोसायटीमार्फत १८७६ मध्ये, ही गोष्ट लोकांना सविस्तर कळविण्याएवढी महत्त्वाची ठरली होती.

गरम कोटामुळे ऊब मिळते ?

जर मी आपणास सांगितले की, आपला गरम कोट किंवा स्वेटर आपल्या शरीरास **मुळीसुद्धा गरम करीत (ऊब देत) नाही** तर ते आपणास मुळीसुद्धा पटणार नाही. पण मी ते सिद्ध केले तर? एक तपमापक घ्या, तो वाचा व नंतर गरम कोटात चांगला दोन तीन तास गुंडाळून ठेवा. मग तो किती तपमान दर्शवितो ते पहा . अगदी पूर्वीएवढंच तपमान तो दर्शवितो. झाली ना खात्री? तर मग कोट थंड करत असेल का? ते पाहण्यासाठी दोन बर्फाच्या पिशव्या घ्या. एक कोटात गुंडाळा व दुसरी तशीच ठेवा. या दुसऱ्या पिशवीतील बर्फ वितळला की पहिली कोटाबाहेर काढा; त्यातील बर्फ वितळण्यास सुरुवातसुद्धा झाली नसेल. म्हणजेच, कोटामार्फत त्यास मुळीसुद्धा उष्णता मिळाली नाही. उलट तो थंडच केला गेला असेच वाटेल, कारण तो वितळण्यास जास्त वेळ लागला.

तर मग गरम कोट ऊब (उष्णता) देतो काय? ऊब म्हणजे उष्णता देणे म्हणजे **त्याची देवाणघेवाण** करणे असे समजल्यास या प्रश्नाचे "नाही" असेच उत्तर द्यावे लागेल. एखादा दिवा किंवा स्टोव्ह आणि आपले शरीरही तसे करते. ती सर्व उष्णतेची उगमस्थाने आहेत पण कोट नाही. **देण्यासाठी अशी त्याची उष्णता नाही. शरीरास उष्णता बाहेर टाकण्यास तो निव्वळ प्रतिबंध करतो.** नियततापी अथवा उष्ण रक्ताच्या प्राण्यांना––ज्यांचे शरीर उष्णता निर्माण करणारे असते––लोकरीच्या कोटात अधिक उबदारपणा जाणवतो. मघाशी वापरलेला तपमापक स्वतःहून उष्णता निर्माण करणारा नसल्यामुळे केवळ कोटात गुंडाळला म्हणून त्याचे तपमान बदलणार नाही. कोटात गुंडाळलेला बर्फ वितळण्यास अधिक वेळ लागला, कारण कोट हा उष्णतेचा निकृष्ट वाहक असल्यामुळे सभोवतालची उष्णता घेण्यास अडथळा करतो.

जमीनीवर पडणारे बर्फ लोकरीच्या कोटाप्रमाणेच असते. इतर सर्व चूर्णरूप पदार्थांप्रमाणे बर्फही उष्णतेचे निःकृष्ट वाहक आहे. अशा या संरक्षक हिमथराचे तपमान निव्वळ उघडया जमीनीपेक्षा पुष्कळदा १० अंशाने सुद्धा

अधिक भरते

तेव्हा, "लोकरीचा कोट आपणास ऊब देतो काय?" या प्रश्नाचे उत्तर हे की, आपणाला स्वत:हून गरम करण्यात तो केवळ मदत करतो; खरे तर कोटासच आपण गरम करतो.

जमीनीखालील ऋतु

जमीनीवर उन्हाळा चालू आहे असे समजूया. तर मग पायांखाली तीन-चार मीटर खोलीवर कोणता ऋतु चालू असेल? उन्हाळाच असणार, असेच आपणास वाटते ना? तर मग तसे समजण्यात आपण चुकत आहात. आपण समजतो त्याप्रमाणे तोच ऋतु जमीनीखाली मुळीच नसतो. या ठिकाणी हे लक्षात घ्यावयास हवे की, जमीन ही उष्णतेची निकृष्ट वाहक आहे. अगदी कडाक्याच्या थंडीतसुद्धा लेनिनग्रादमधल्या पाण्याचे नळ फुटत नाहीत, कारण ते जमीनीत दोन मीटर खोलीवरून गेलेले आहेत. जमीनीवरच्या तपमानातील फेरफार, जमीनीखालच्या वेगवेगळ्या थरांपाशी फार उशिरा पोहोचतात. लेनिनग्राद विभागातील स्लुत्स्क गावात जी मोजमापे घेतली गेली त्यावरून असे दिसून आले की, ३ मी. खोलीवर बर्फातील अत्याधिक उष्णतेचा काल ७६ दिवसांनी उशिरा येतो तर अतिशय थंड तपमानाचा काळ १०८ दिवसांनी २५ जुलै हा जमिनीवरील उच्च तपमानाचा दिवस असेल तर जमिनीखाली ३ मी. खोलीवर तसा दिवस ९ ऑक्टोबर रोजी येईल. तसेच अतिशय थंड तपमानाचा दिवस १५ जानेवारी असल्यास याच खोलीवर असा दिवस मे मध्येच येणार. याहीपेक्षा अधिक खोलीवर अधिक उशिरा येईल.

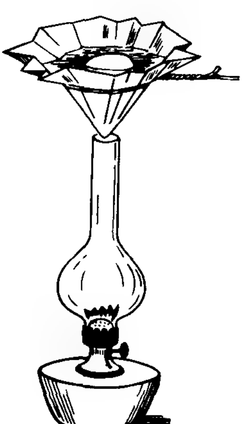
जो जो खोल जाऊ तो तो तपमानातील फेरफार जाणविण्याचे प्रमाण कमी कमी होत जाते आणि एका विशिष्ट खोलीपाशी मग ते कायमचे स्थिरस्वरुपी आढळते. या ठिकाणचे वर्षभरचे तपमान कायमचे एकच असल्याचे दिसून येईल व ते कित्येक शतके स्थिर राहणारे असते. हे त्या जागेचे वार्षिक सरासरी तपमान होय. पॅरिस वेधशाळेच्या २८ मी. खोलीवर असणाऱ्या तळघरात लवुआजे याने ठेवलेला एका तपमापक गेली दीडशे वर्षे त्या ठिकाणी असून त्यातील पारा नखभरसुद्धा खालीवर झालेला नाही. या काळात तो ११.७ अंश से. हे एकच तपमान दाखवीत आहे.

थोडक्यात, जमीनीवर जो ऋतु असेल तो जमीनीखाली मुळीच असणार नाही. जमीनीवर जेव्हा आपण हेमंत ऋतु अनुभवीत असतो तेव्हा जमीनीखाली तीन मीटर खोलीवर शरद ऋतु चालू असतो. तसेच आपण जर उन्हाळा अनुभवीत असू तर जमीनीखाली हिवाळ्यातील बर्फाचे सौम्य

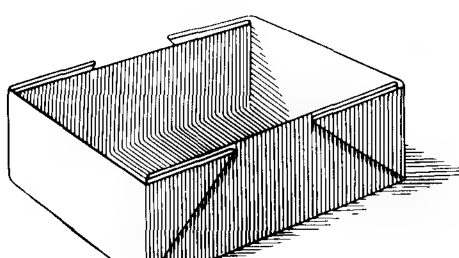
परिणाम आपणास जाणवतील. जमीनीखालच्या जीवनाबद्दल विचार करताना हा महत्त्वाचा फरक अवश्य ध्यानात घेतला पाहिजे. उदाहरणार्थ, झाडांच्या मुळातील पेशी हिवाळ्यात जोमाने वाढतात तर कँबियम नामक पेशींचे काम उन्हाळ्यात जवळजवळ बंद पडलेले असते. नेमकी याउलट परिस्थिती जमीनीवरच्या खोडात आढळल्यास नवल वाटू नये.

कागदाचे भांडे

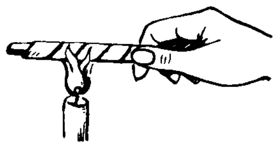
आ. ८३ पहा. कागदी भांड्यातील पाण्यात अंडे उकडत आहे. कागद जळून पाणी सांडण्याने ज्योत विझणार तर नाही ना? चांगला चिवट कागद घेऊन तारेच्या वेटोळ्यात अडकवा आणि अंडे उकडण्याचा प्रयोग स्वतःच करून पहा. (किंवा आ. ८४ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे कागदी खोके केले तर उत्तमच). कागदाला काहीच धक्का बसत नाही. याचे कारण असे की, अशा भांड्यात पाण्याच्या उकळत्या बिंदूपर्यंतच म्हणजे १०० अंश से. पर्यंत पाणी तापविता येईल. उष्णता शोषून घेण्याची क्षमता पाण्याअंगी उच्च प्रतीची असल्यामुळे कागदास मिळणारी जादा उष्णता ते शोषून घेते व १०० अंश से. हून जास्त ,म्हणजेच तो जळण्याएवढे तपमान होणे टळते. ज्वालांनी कागद अगदी लपेटला गेला तरीसुद्धा तो जळणार नाही.



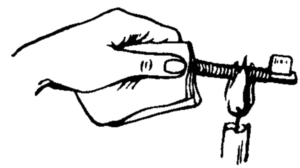
आ. ८३
कागदी भांड्यात उकडणारे अंडे



आ. ८४
पाणी उकळविण्याचे कागदी खोके



आ. ८५ न जळणारा कागद



आ. ८६ न जळणारा दोरा.

पाणी नसलेली किटली विस्तवावर ठेवली गेली तर ती फुटते, पण तीमध्ये पाणी असेल तर वरील गुणधर्मामुळेच हे टळते. याच कारणासाठी डाग दिलेली भांडी पाण्याशिवाय विस्तवावर ठेऊ नयेत.

खेळाच्या पत्त्यांपासून तयार केलेल्या छोट्या खोक्यात शिशाची गोळी वितळविता येईल. हे करण्यासाठी खोक्यात गोळी बरोबर ज्योतीच्या वर ठेवा. शिसे उष्णतेचे उत्तम वाहक असल्यामुळे, ते खोक्यास मिळणारी उष्णता अगदी त्याच्या वितळणबिंदूपर्यंत म्हणजे ३३५ अंश से. पर्यंत वेगाने शोषून घेते. कागदाच्या ज्वलनांकापेक्षा ते खूपच कमी असते.

आ. ८५ मध्ये आणखी एक असाच साधा प्रयोग दाखविला आहे लोखंडी (किंवा तांब्याच्या) जाड खिळ्यावर, स्क्रूच्या आट्यांप्रमाणे (पिळ्यां-प्रमाणे) अरूंदशी कागदी पट्टी घट्टपणे गुंडाळा. मग ज्योतीवर खिळा धरा. कागदाभोवती ज्योत जरी लपेटला तरी धूर येईल पण कागद जळणार नाही. खिळा तापून लाल होईपर्यंत कागद जळण्यास सुरुवात होणार नाही. या-मागेही धातूची उत्कृष्ट उष्णतावाहकता हेच कारण आहे. काचेची सळई मात्र या प्रयोगासाठी अजिबात उपयोगी पडणार नाही. आ. ८६ मध्ये असाच प्रयोग दिसत असून त्यात आपण "न जळणारा" दोरा किल्लीभोवती घट्टपणे गुंडाळला आहे.

बर्फ निसरडा का ?

गुळगुळीत पॉलिश केलेल्या फरशीवरून आपण जेवढ्या सहजतेने घस-रतो तेवढे खडबडीत केलेल्या फरशीवरुन घसरत नाही. हे पाहता खडबडीत बर्फापेक्षा गुळगुळीत बर्फ अधिक निसरडा असावयास हवा ! तथापि, गुळगुळीत बिनचाकी घसरगाडी ओढत नेताना नेमका उलट अनुभव येतो. खडबडीत बर्फावरूनच ती खूप सहजतेने ओढली जाते. **गुळगुळीत** बर्फापेक्षा खडबडीत, उंच-सखल बर्फ अधिक निसरडा का असावा? बर्फ निसरडा खरा पण गुळगुळीतपणामुळे नव्हे, तर दाबाखाली त्याचा विलय बिंदू कमी होतो म्हणून.

बर्फात वापरावयाचे बूट किंवा घसरगाडी वापरताना काय होते ते पाहूया. बुटाखालच्या छोटयाशा म्हणजे काही चौरस मि. मी. क्षेत्रफळावर आपण शरीराचा सारा भार देतो. या पुस्तकातील २ रे प्रकरण आठवा. आपल्या लक्षात येईल की, घसरगाडीच्या बाबतीत आपण बर्फावर भरपूर दाब देतो. मोठ्या दाबाखाली बर्फ कमी तपमानास विरघळतो. उदाहरणार्थ, बर्फाचे तपमान शून्याखाली जर ५ अंश से. असेल तर आणि घसरगाडीच्या दाबामुळे विलयबिंदू ६ ते ७ अंशाने कमी झाला असेल तर तो बर्फ वितळेल. केवळ आकडेमोडीतून असे सिद्ध झाले आहे की, बर्फाचा विलयबिंदू एक अंशाने कमी करण्यास दर चौरस सें. मी. वर १३० कि. ग्रॅ. एवढा भरपूर दाब देणे जरूर आहे. घसरगाडी किंवा बूट घालणारी व्यक्ती एवढा दाब निर्माण करते काय? बुटांच्या क्षेत्रफळावर किंवा घसरगाडीच्या तळावर वजन विखुरले तर तो दाब फारच कमी असल्याचे दिसून येईल. म्हणजेच बर्फाशी **प्रत्यक्ष** संबंधित असा फारच कमी भाग येतो. यामुळे बर्फ व बुटाच्या पटया किंवा घसरगाडी यांच्यामध्ये एक पातळसा थर निर्माण होतो. त्याबरोबरच बूट घातलेली व्यक्ती किंवा घसरगाडी सरकते किंवा घसरते. पुढे सरकण्यानुसार ह्या परिस्थितीची पुनरावृत्ती होत राहते.

बूट घातलेली व्यक्ती पाण्याच्या पातळशा थरावरून एकसारखी घसरत जाते. फक्त बर्फाच्या बाबतीतच हा गुणधर्म पहावयास मिळतो. एका सोविएत भौतिकशास्त्रज्ञाने त्यास "निसर्गातील एकमात्र निसरडी वस्तू" असे म्हटले आहे. इतर सर्व वस्तू गुळगुळीत असल्या तरी निसरड्या नाहीत.

परत आपल्या पहिल्या मुद्याकडे वळूया. गुळगुळीत बर्फापेक्षा खडबडीत, उंचसखल बर्फ अधिक निसरडा का? आपणास आता माहीत झालेच आहे की, लहानशा क्षेत्रफळावर तेच वजन अधिक दाब निर्माण करते. जास्त दाब केव्हा निर्माण केला जातो? सपाट बर्फावर? का खडबडीत बर्फावर? उघडच आहे की, खडबडीत पृष्ठभागावर अधिक दाब निर्माण केला जातो. कारण बर्फाच्या चार-दोन उंचवटयावर आपले सर्व वजन तोलले जाते. जेवढा दाब जास्त तितक्या सहजतेने बर्फ वितळतो आणि मग तो अधिक निसरडा होतो. मात्र घसरड्या गाडीचे सरकणारे भाग पुरेसे रुंद हवेत. (बुटांच्या अरुंद पटयांना हे लागू पडणार नाही, कारण गतीतील ऊर्जा उंचवटे कापण्यातच खर्च होईल).

दाबापोटी खाली येणारा बर्फाचा विलयबिंदू, सभोवताली आढळणारे अनेक आविष्कार स्पष्ट करतो. यामुळेच बर्फाचा चुरा किंवा वेगवेगळे तुकडे जोराने दाबले असता एकत्रित किंवा एकसंधी बनतात. एकमेकांवर बर्फाचे

गोळे फेकणारी मुले नकळत या गुणधर्माचाच उपयोग करतात. बर्फाचा गोळा तयार करतेवेळी तुकडे एकत्रित दाबले जाऊन त्यांचा विलयबिंदू खाली येतो आणि म्हणूनच ते एकमेकांना चिकटतात. बर्फाचा माणूस तयार करतानाही हेच तत्त्व वापरले जाते. (मात्र जोरदार हिमवृष्टीच्या वेळी बर्फाचे गोळे किंवा माणूस बनविणे का शक्य नसते हे मी स्पष्ट करण्याची आवश्यकता नाही). रस्त्याच्या कडेणे, फुटपाथवर खूप चालणे होऊन जो दाब पडत राहतो त्यामुळे बर्फकण एकत्रित दाबले जाऊन त्याची एकसंधी लादीच बनते.

हिमकांड्यांचा प्रश्न

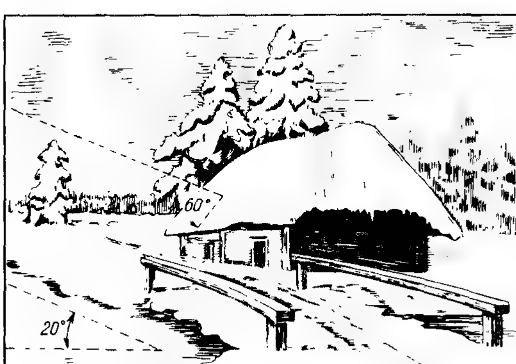
छपराच्या कडेने तयार होणाऱ्या लोंबकाळणाऱ्या हिमकांड्या कशा तयार होतात याचा आपण कधी विचार केला आहे का ? आणि त्या केव्हा तयार होतात ? बर्फ वितळू लागल्यावर की अतिशय थंडी असताना ? जर बर्फ वितळू लागल्यावर तयार होत असतील तर शून्य अंशाहून जास्त तपमानात पाणी कसे काय गोठते ? बर्फ पडत असताना तयार होत असल्यास गोठणारे पाणी कोठून येते ?

वरवर सोपा वाटणारा हा प्रश्न प्रत्यक्षात तेवढा सोपा नाही. हिमकांड्या तयार होण्यासाठी एकाच वेळी **दोन वेगवेगळ्या तपमानांची** आवश्यकता असते. वितळण्याच्या क्रियेसाठी शून्याहून जास्त आणि गोठण्यासाठी शून्याखालचे. वस्तुतः तसेच घडते. उतरत्या छपरावरील हिमथर वितळतो, कारण सूर्यामुळे तापून त्याचे तपमान **शून्याहून जास्त** होते. त्या सुमारारासच छपराच्या कडेने गळणारे पाणी गोठते, कारण येथे तपमान **शून्याखाली** असते. (छपराखालच्या खोलीत गरम, उबदार हवा बाहेर पडण्यामुळे ज्या हिमकांड्या बनतात त्या येथे अभिप्रेत नाहीत).

पुढील चित्र मनःचक्षूसमोर आणा. स्वच्छ, कोवळ्या उन्हाचा दिवस आहे. तपमान शून्याखाली एक-दोन अंशाइतकेच आहे. सारा परिसर उन्हात नाहत आहे. उतरत्या छपरावरचे तिरके सूर्यकिरण जमीनीवरील बर्फ वितळविण्याइतके तीव्र नाहीत. पण सूर्याकडे तोंड असणाऱ्या **उतरत्या** छपरावर ते जवळजवळ **काटकोनाएवढ्याच** कोनात पडत असल्यामुळे ते छपरास गरम करतात व त्यावरील बर्फ वितळतो. किरणांचा छपराच्या पातळीशी होणारा रुंद कोन अधिक सूर्यप्रकाश मिळवून देतो आणि अधिक रुंद जागा गरमही करतो. या कोनाच्या ज्या ज्या सरळसरळ गुणोत्तरात त्याचा परिणाम असतो. चित्र क्र. ८७ मधील घराच्या छपरावरील बर्फास, जमीनीवरील बर्फाच्या तुलनेने जादा उष्णता मिळते, कारण ६० अंशाच्या कोज्यापेक्षा २० अंशाच्या कोज्या २.५ पटींनी जास्त भरते. छपरावरील बर्फ खाली गळू लागतो.

पण घराच्या छपरावरील तपमान **शून्याखालचे** असल्यामुळे पाण्याचे थेंब बाष्पीभवनामुळेही गोठण्याची प्रवृत्ती वाढते. दुसरा थेंब पडतो व तोही गोठतो. मग तिसरा चौथा असे एका मागोमाग थेंब येतात, गोठतात आणि त्यातून जणू लोंबता लोलक तयार होतो. काही दिवसांनंतर किंबहुना एका आठवड्या नंतर परत त्याच हवामानाची पुनरावृत्ती होते व लोलक क्रमाक्रमाने वाढून त्यांचे हिमकांड्यांत रूपांतर होते. जमीनीखालच्या गुहांमध्ये ज्याप्रमाणे अधोमुखी लवणस्तंभ किंवा चुनखडी स्तंभांची झुंबरे तयार होतात तसाच काहीसा हा प्रकार असतो छपराच्या कडेने हिमकांड्या तयार होतात त्या याप्रमाणे.

सूर्यकिरणाचे बदलते आपाती कोन यापेक्षा कितीतरी भव्य आविष्कार निर्माण करतात. हवामानांचे आणि ऋतूंचे वेगवेगळे विभाग निर्माण होण्यास तेच (पण सर्वस्वी तेच नव्हेत) कारणीभूत असतात. आणखी एक बदलता आविष्कार म्हणजे दिवसाची कमीजास्त होणारी लांबी किंवा सूर्यामार्फत पृथ्वीस उष्णता मिळण्याचा काल हा होय. या दोहोंसही कारणीभूत असे एकच समान खगोलशास्त्रीय कारण आहे; ते म्हणजे पृथ्वीच्या अक्षाचा तिच्या आयनवृत्ताशी होणारा कोन. उन्हाळ्यात सूर्य आपणापासून जेवढा दूर असतो, जवळजवळ तेवढाच तो हिवाळ्यातही असतो व ध्रुवबिंदूपासून जेवढा दूर तेवढाच विषुववृत्तापासूनही दूर असतो. त्यातील फरक नगण्य ठरावा एवढा तो अल्पसा असतो. तथापि, विषुववृत्तापाशी सूर्यकिरणाचा आपाती कोन हिवाळ्याच्या तुलनेने अधिक रुंद असतो. यातूनच हवामानातील फेरफार निर्माण होऊन निसर्गातील विविध बदल अस्तित्वात येतात.



आ. ८७ सूर्याच्या उष्णतेने कलते छप्पर,
जमिनीपेक्षा जास्त गरम होते.

पकडलेल्या छाया

आपल्या पूर्वजांना छाया ऊर्फ सावल्या पकडता येत नव्हत्या. पण त्यांचा काहीना काही उपयोग त्यांनी जरूर केला. हा उपयोग म्हणजे छाया-चित्र ऊर्फ छायेची बाह्यरेषा वापरून तयार होणारे एकरंगी चित्र होय. आज छायाचित्रासाठी आपण छायाचित्रकाराकडे जातो. १८ व्या शतकात मात्र छायाचित्रकार नव्हते. चित्रकार चित्र काढण्यासाठी जबर किंमत मागत आणि श्रीमंतांनाच ती परवडत असे. यामुळेच **छाया-चित्र** सर्वत्र लोकप्रिय झाले होते. आज घेण्यात येणाऱ्या क्षणचित्रांची (स्नॅप शॉटची) ते काही प्रमाणात बरोबरी करते.

अशी छाया-चित्रे म्हणजे पकडलेल्या सावल्याच म्हटल्या पाहिजेत. ती तयार करण्यात एकप्रकारची यांत्रिकता होती व या दृष्टीने आजच्या छाया-



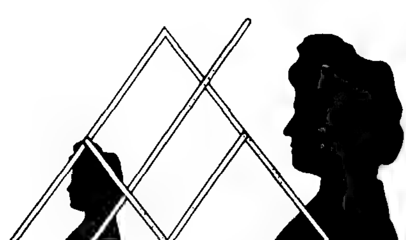
आ. ८८ छायेवरून व्यक्तिचित्र तयार करण्याची एक जुनी पद्धत.

चित्रात व त्यात काही साम्य आढळते. आजचे छायाचित्रकार, छायाचित्र तयार करण्यासाठी **प्रकाशाचे** माध्यम वापरतो. (ग्रीक भाषेत "फोटोस" शब्दाचा "प्रकाश" असा अर्थ होतो). आपल्या पूर्वजांनी याच कामासाठी **छायेचा** वापर केला.

आ. ८८ मध्ये छाया-चित्र कसे तयार करतात असे ते दाखविले आहे. संबंधित व्यक्ती आपल्या चेहरेपट्टीची योग्य प्रकारे छाया पडेल अशा तऱ्हेने बसत असे. मग या बाह्यरेषेच्या आतील भाग काळा केला जाई. ती कापण्यात येई व पांढऱ्या कागदावर चिकटविला जाई. हेच ते छाया-चित्र. जरूर पडल्यास पँटोग्राफच्या सहाय्याने ते लहान केले जाई (आ. ८९).

या साध्यासुध्या काळ्या आकृतीमध्ये मूळ व्यक्तीच्या चेहरेपट्टीची वा शरीराची वैशिष्ट्ये येत असतील का, अशी शंकासुद्धा मनात आणू नका. व्यवस्थितपणे चित्र काढल्यास एखादे उत्कृष्ट छायाचित्र अगदी हुबेहूब तयार होणे मुळीच अशक्य नाही.

काही चित्रकारांना या पद्धतीने आकर्षित केले व त्यांनी छाया-चित्राचे साहाय्य घेऊन चित्रे काढण्यास सुरुवात केली. अशा प्रकारे चित्रकलेत एक नवी दिशा निर्माण झाली. छाया-चित्र ऊर्फ सिल्युएत या शब्दाची जन्मकथाच मोठी मनोरंजक आहे. १८ व्या शतकातील एटेन दे सिल्युएत या फ्रान्सच्या



आ. ८९ कृष्ण-छायाचित्रास लघुरूप देणे.

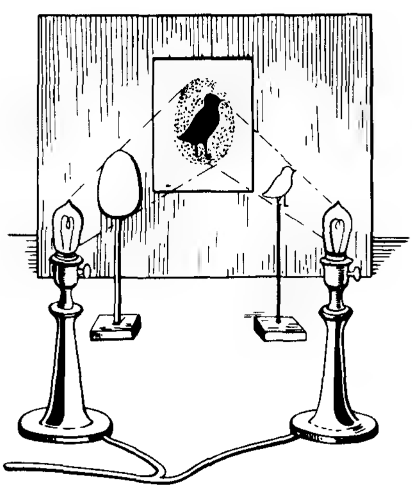


आ. ९० स्किलरचे कृष्ण-छायाचित्र (१७९०)

अर्थमंत्र्याशी ही संज्ञा निगडीत आहे. आपल्या उधळ्या देशबांधवांना तो नेहमी काटकसरीचा उपदेश करी आणि स्वतःचा पैसा उधळणाऱ्या सरदार-उमरावांची खरडपट्टी काढी. या त्याच्या स्वभाववैशिष्ट्याचे निदर्शक असा "सिल्युएत" ऊर्फ छाया-चित्र शद्व प्रचारात आला.

अंड्यातील पिल्लू

छायेच्या गुणधर्मांच्या सहाय्याने एक मोठी गमतीशीर जादू अथवा प्रयोग करता येईल एका अर्ध–पारदर्शक (पतंगाचा किंवा नकाशे काढण्याचा ट्रेसिंग पेपर) कागद घ्या आणि पुठ्ठ्याच्या मधोमध चौकोन कापून त्यावर तो चिकटवा. आच्छादन नसलेले दोन टेबललँप घ्या. ते या पुठ्ठ्याचे मागे ठेवा. पहाणाऱ्याला पुढल्या बाजूस बसावयास सांगा. डावीकडचा दिवा लावा. पडदा व दिव्यामध्ये अंड्याच्या आकाराचा तुकडा कापून वायरवर उभा ठेवा. हा दिवा लावला की, बघणाऱ्याना पडद्यावर अंडे दिसेल. उजवीकडचा दिवा इतक्यात लावू नका. मग तुमच्या मित्रांना सांगा की, आपल्याजवळ एक विशेष क्ष-किरण यंत्र असून त्याच्या सहाय्याने अंड्यातील पिलू पाहता येते. उजवीकडचा दिवा व पुठ्ठा यांच्यामध्ये पिलाच्या आकाराचा तुकडा



आ. ९१ खोटे क्ष-किरण चित्र.

उभा केलेलाच असतो. वरीलप्रमाणे प्रेक्षकांना सांगून झाल्य.नंतर उजवा दिवा लावा काय आश्चर्य ! प्रेक्षकांना अंड्याची छाया किंचितशी फिकी व तीमध्ये पिलाची गडद छाया पहावयास मिळते ! अंड्यात असलेले पिलू पहावयास मिळते ! !

उजवीकडच्या दिव्यामुळे अंड्याच्या छायेवर प्रकाश पडतो व ती फिक्कट दिसते. आपल्या मित्रांना ही जुळवाजुळव कळून येणार नाही. भौतिकशास्त्राचे व शरीररचनेचे ज्ञान जर परिपूर्ण नसेल तर आपण खरोखरीच अंड्याचे क्ष-किरणचित्र दाखवीत आहोत असेच त्यांना वाटेल.

छायाचित्रित व्यंगचित्रे

छायाचित्रकामध्ये काचेचे किंवा प्लॅस्टिकचे भिंग वापरलेले असते हे आपणास ठाऊक असेलच. पण भिंगाऐवजी अगदी लहान व गोलाकार छिद्र (सूचिछिद्र) वापरूनही छायाचित्रक तयार होऊ शकतो. अनेकांना कदाचित हे माहितही नसेल. छोट्या खोक्याच्या एका बाजूस मधोमध टाचणीने छिद्र पाडा व दुसऱ्या बाजूवर पतंगाचा अर्धपारदर्शक कागद (किंवा ट्रेसिंग पेपर) धरा. मग पहा. समोरच्या दृश्याची (उलटी) प्रतिमा आपणास कागदावर दिसेल. या भिंगरहित छायाचित्रकामध्ये काही फेरफार करून काचेचा छायाचित्रक तयार करता येतो. समोरच्या भागात दोन जाडसर कागद असून त्यापैकी एकावर उभी व दुसऱ्यावर आडवी बारीक अशी खाच असते.



आ. ९२ खाचेच्या कॅमेऱ्याने घेतलेले विनोदी छायाचित्र, चित्र आडव्या दिशेने ताणले गेले आहे.

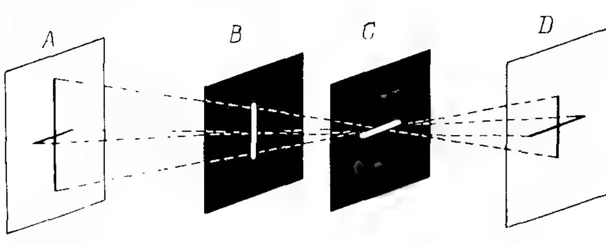


आ. ९३ तसेच एक विनोदी छायाचित्र, चित्र उभ्या दिशेने ताणले गेले आहे.

जेव्हा हे दोन कागद एकमेकांना अगदी चिकटून असतात तेव्हा दोन्ही खाचा मिळून तयार होणारी प्रतिमा वेडीवाकडी न होता दिसते पण दोन खाचांमध्ये (म्हणजेच त्या दोन कागदामध्ये) थोडे अंतर ठेवून मिळणारी प्रतिमा वेडीवाकडी दिसते. जणू छायाचित्रित व्यंगचित्रच.

हे असे का होते? प्रथम आडव्या खाचेच्या कागदामागे जो उभ्या खाचेचा कागद ठेवला आहे त्या उदाहरणाचा विचार करूया. (आ. ९४ मध्ये C कागदामागील B कागद) D या कागदावर अधिक चिन्हाची (+) खूण असून तिची प्रतिमा कशी दिसेल ते पाहूया. या अधिक चिन्हाच्या उभ्या रेषेपासून निघणारे प्रकाशकिरण C या पहिल्या खाचेतून साध्यासुध्या गोल छिद्रातून गेल्याप्रमाणेच जातात. B ही खाच त्याच्या मार्गात कोणताच बदल करीत नाही. परिणामी A या अर्धपारदर्शक पडद्यावर ऊर्फ काचेवर A आणि C यातील अंतराच्या प्रमाणानुसार उभ्या रेषेची प्रतिमा दिसते. तथापि, खाचांच्या स्थितीमुळे (त्यातील अंतरामुळे) अधिक चिन्हातील आडव्या रेषेची प्रतिमा अगदी वेगळ्या प्रकारे मिळते. या आडव्या रेषेपासून निघणारे किरण आडव्या खाचेतून (C मधून) कोणताच अडथळा न येता पार होतात आणि B या उभ्या खाचेपाशी आल्यावर तीमधून साध्यासुध्या गोल छिद्रातून गेल्याप्रमाणेच जातात. A या अर्धपारदर्शक काचेवर या आडव्या रेषेची प्रतिमा A व B यामील अंतराचे प्रमाणानुसार मिळते.

थोडक्यात, उभ्या रेषांची काळजी फक्त C खाचेतर्फे घेतली जाते. आडव्या रेषांची काळजी B खाचेमार्फत घेतली जाते. पण C ही खाच पडद्यापासून अधिक दूर असल्यामुळे पडद्यावर सर्व उभी मापे मोठ्या आकाराची मिळतात. दुसऱ्या शद्वात सांगावयाचे झाल्यास प्रतिमा उभ्या दिशेने ताणली जाते. खाचांची स्थिती असल्यास प्रतिमा आडव्या दिशेने ताणली जाईल. (आ. ९२ व ९३, तुलना करा). खाचा काटकोनात न ठेवता तिरप्या ठेवल्या तर प्रतिमा वेगळ्या प्रकारे ताणली जाईल.



आ. ९४ खाचयुक्त कॅमेऱ्यामुळे प्रतिमा का ताणली जाते ते आकृतीवरून समजेल.

असा छायाचित्रक केवळ व्यंगचित्रांसाठी वापरला जातो असे नाही. तो शिल्पशास्त्रीय सौंदर्यवर्धन, गालिच्यांवरील, भिंतींवर चिकटविण्याच्या शोभादायक कागदांवरील नक्षी, तसेच कोणत्याही अलंकारिक रचना जेव्हा निश्चित प्रकारे ताणावयाच्या किंवा संकोचित करावयाच्या असतील तेव्हा फार महत्त्वपूर्ण मदत करतो.

सूर्योदयाची निश्चित वेळ

समजा सूर्योदय पाहण्यासाठी पहाटे बरोबर पाच वाजता आपण उठला आहात. प्रकाश काही क्षणार्धात आपल्यापर्यंत पोहोचत नसल्यामुळे त्याला उद्गमस्थानापासून आपल्या डोळ्यांपर्यंत पाहोचण्यास काही वेळ जरूर लागणार. तेव्हा माझा प्रश्न असा की, जर प्रकाश क्षणार्धात किंवा मुळीसुद्धा वेळ न घेता प्रसारित होत असेल तर आपण सूर्योदय कोणत्या वेळी पहाल?

सूर्यापासून पृथ्वीपर्यंत प्रकाश पोहोचण्यास आठ मिनिटे लागतात. प्रकाश जर मुळीसुद्धा वेळ न घेता प्रसारित होणारा असेल तर सूर्योदय आठ मिनिटे आधी म्हणजे ४ वा. ५२ मि. नी पहावयास मिळाला पाहिजे, असेच ना? पण ही समजूत निखालस खोटी आहे हे ऐकून आपण आश्चर्यचकीत व्हाल. जेव्हा पृथ्वी अगोदरच प्रकाशित झालेल्या भागाकडे तोंड वळविते तेव्हाच सूर्याचा "उदय" होतो. म्हणूनच, प्रकाश क्षणार्धात जरी प्रसारित झाला तरीसुद्धा आपण बरोबर ५ वाजताच सूर्याला पाहणार.

आपण जर वातावरणातील वक्रीभवन विचारात घतले तर यापेक्षाही स्तंभित करणारे अनेक प्रकार आढळतील. वक्रीभवनामुळे प्रकाशकिरणांचा मार्ग तिरपा केला जातो व त्यामुळे सूर्य क्षितीजावर उगविण्याआधीच त्याचा "उदय" झालेला पहावयास मिळतो. पण प्रकाश क्षणार्धात प्रसारित होत नसल्यामुळे, नव्हे, होणारच नाही; ते होते कारण वेगवेगळ्या माध्यमात प्रकाश वेगवेगळ्या गतीने प्रसारित होतो म्हणून. वक्रीभवन अस्तित्वातच नसेल तर आपणास सूर्योदय किंचितसा उशिरा पहावयास मिळेल. हा उशीर दोन मिनिटांपासून ते अनेक दिवसांचा, किंबहुना त्याहीपेक्षा जास्त (उदा. ध्रुवप्रदेशातील अक्षांशापाशी) असेल. कारण हा अवधी अक्षांश, हवेचे तपमान आणि इतर बाबींवर अवलंबून असतो. तेव्हा प्रकाश जरी क्षणार्धात प्रसारित झाला तरी सूर्योदय दिसतो त्यापेक्षा उशिराच दिसेल. अतिशय कुतुहलजनक असा हा विरोधाभासच म्हणावा लागेल.

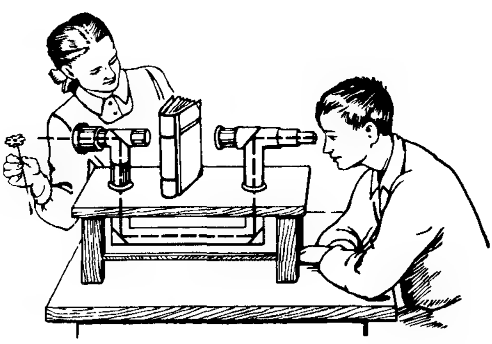
तथापि, दूरदर्शकातून जर आपण सौरउद्रेकांचे निरीक्षण करीत असाल तर मग मात्र परिस्थिती एकदम वेगळी असेल. त्यावेळी मात्र — म्हणजे प्रकाश क्षणार्धात प्रसारित होत असेल तर — सूर्योदय आठ मिनिटे लवकर पहावयास मिळेल.

परावर्तन आणि वक्रीभवन

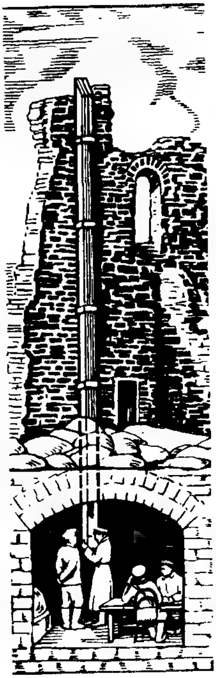
अपारदर्शकाच्या आरपार

१८९० मध्ये एक मोठे कुतूहलजनक उपकरण बाजारात मिळत होते व त्यास "क्ष-किरण यंत्र" असे लक्षवेधक नाव होते. त्या शाळकरी वयात ते उपकरण पाहून मला केवढा तरी अचंबा वाटला होता. त्याच्या साहाय्याने अपारदर्शक वस्तूच्या आरपार दिसत असे. खुद्द क्ष-किरण धातूच्या पत्र्याच्या आरपार जात नसले तरी या उपकरणात तशी अडचण येत नव्हती. आ. ९५ मध्ये या उपकरणाची अंतर्रचना दाखविली असून ती पाहताच सारी लबाडी आपल्या ध्यानात येईल. या उपकरणामध्ये ४५ अंशाने कललेले चार आरसे असून वस्तूपासून निघणारे प्रकाशकिरण परावर्तित-पुनर्परावर्तित होत अडथळयास "वळसा" घालतात.

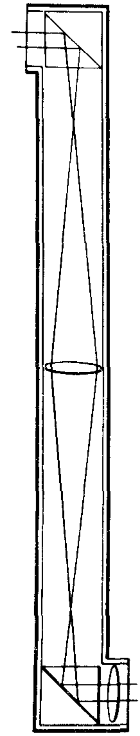
अशाच प्रकारच्या परिदर्शक नामक उपकरणाचा सैन्यदलात महत्त्वपूर्ण वापर होतो. या परिदर्शकामुळे स्वतःचा ठावठिकाणा शत्रूस कळू न देता



आ. ९५ एक फसवे क्ष-किरण उपकरण.



आ. ९६ परिदर्शक



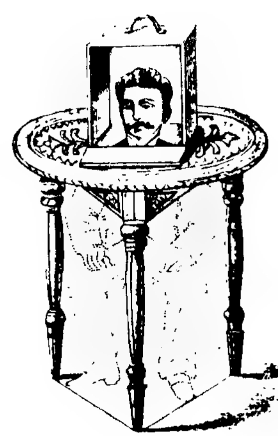
आ. ९७ पाणबुडीतील परिदर्शकाची रचना.

त्याच्या हालचाली मात्र पाहता येतात. परिदर्शकाचा डोळा निरीक्षकाच्या डोळ्यापासून जेवढा दूर तेवढे त्याचे दृष्टिक्षेत्र लहान होते. ते मोठे करण्यासाठी त्यामध्ये निरनिराळी भिंगे वापरली जातात. तथापि, परिदर्शकात शिरणाऱ्या प्रकाशाचा काही भाग भिंगांमार्फत शोषिला जात असल्यामुळे प्रतिमा अस्पष्ट व धूसर दिसते. यामुळे परिदर्शकाच्या उंचीवर मर्यादा येते. त्याची उंची जास्तीत जास्त २० मी. असते. यापेक्षा अधिक उंचीच्या परिदर्शकाचे दृष्टिक्षेत्र फारच लहान असते. तसेच ते फारच धूसर असते. ढगाळ हवामानात पाहणे तर फारच त्रासदायक ठरते.

पाणबुडीतही परिदर्शक वापरून शत्रूच्या जहाजांचे निरीक्षण केले जाते. पाणबुडी पाण्यात शिरली असता परिदर्शक पाण्याबाहेर डोकावतो. सैन्यदळाच्या, परिदर्शकापेक्षा तो खूपच गुंतागुंतीचा असला तरी त्याप्रमाणेच त्यात आरसे (किंवा लोलक) वापरलेले असतात.

बोलणारे मुंडके

बहुदा जत्रेत पाहावयास मिळणारा हा प्रकार, पाहणाऱ्यास अगदी स्तंभित करतो. एका थाळीत माणसाचे कापलेले मुंडके ठेवलेले असते व ते डोळे फिरविते, बोलते आणि खातेही! हा प्रकार पाहून कोण थक्क होणार नाही? ते ज्या टेबलावर ठेवलेले असते तिथपर्यंत जाता येत नसले तरी त्याखाली काहीच नाही हे आपण चांगले पाहू शकतो. हा प्रयोग पाहण्याची पुढे कधी जरी संधी मिळाली तर कागदाचा एक बोळा टेबलाच्या खालच्या बाजूवर फेका. तो आपटून परत मागे उडतो हे पाहून आपणाला आश्चर्यच वाटेल. पण त्यात आश्चर्य किंवा गूढ असे काहीच नाही. तो बोळा आरशावर आपटून मागे उडालेला असतो. बोळा जरी तेथपर्यंत गेला नाही तरी तो आरशात प्रतिबिंबित झाल्याचे नक्कीच दिसेल व तेथे आरसा असल्याचे आपल्या नजरेस येईल.



आ. ९८ तोडलेल्या मुंडक्यामागील रहस्य.

टेबलाखाली काहीच नसल्याचा भ्रामक समज होण्यास त्याच्या एका पायापासून ते दुसऱ्या पायापर्यंत पुरणारा एकच आरसा पुरेसा आहे. मात्र त्यात कोणत्याही वस्तूचे, सामानाचे किंवा प्रेक्षकांचे प्रतिबिंब अजिबात दिसता कामा नये. म्हणूनच अशा प्रयोगाची खोली सर्वत्र एकसारखी दिसणारी असावयास हवी. खोलीतील जमीन भिंतीप्रमाणेच दिसावयास हवी, तीवर कोणतीच नक्षी नको. तसेच प्रेक्षकांनाही भरपूर अंतरावर ठेवलं पाहिजे. तसे पाहिले तर या प्रयोगामागील "रहस्य" अगदी साधेसुधे खरे, पण ते उघड होईपर्यंत तरी प्रेक्षक आश्चर्यात बुडून जातो.

पुष्कळदा हा प्रयोग मोठ्या आकर्षकपणे सादर केला जातो. प्रथम एक-जण मोकळे टेबल दाखवून त्याखाली व वर काहीच नसल्याची खात्री करून देतो. मग ज्या पेटीत 'जिवंत' डोके असते– पण प्रत्यक्षात ती रिकामीच असते– ती टेबलावर आणून ठेवली जाते. यावेळी आपली उत्कंठा शिगेस पोहोचलेली असते. पेटीचे पुढील झाकण उघडले जाते आणि आपणास आश्च-र्याचा धक्का बसतो. पेटीमध्ये बोलके डोळे पाहावयास मिळतात! आपल्या ध्यानात आलेच असेल की टेबलास वरच्या बाजूने एक उघडते झाकण असून त्यामधूनच टेबलाखाली व आरशामागे बसलेली व्यक्ती आपले डोके वर काढते, व आपणास मात्र ते पेटीत दिसते. हाच प्रयोग आपण इतर प्रकारेही करू शकता.

पुढच्या बाजूस की मागच्या ?

घरात अशा कितीतरी वस्तू असतात की ज्या योग्य प्रकारे वापरल्या जात नाहीत. यापूर्वी आपण पाहिलेच आहे की बर्फाचा योग्य प्रकारे वापर होत नाही. पाणी थंड करण्यासाठी ते **बर्फाखाली** ठेवण्याऐवजी बर्फावर ठेवले जाते. याप्रमाणेच आपण आरसासुद्धा योग्य प्रकारे वापरत नाही. आरशा-तील प्रतिबिंब स्पष्ट दिसावे म्हणून पुष्कळदा आपण पाठीमागे दिवा ठेवतो. खरे तर स्वतःसमोर दिवा ठेवला पाहिजे. बहुतांश स्त्रिया पाठीमागे दिवा ठेवणाऱ्या असल्यामुळे आता माझे पुस्तक वाचणाऱ्या भगिनी स्वतःसमोर दिवा ठेवून आरशाचा वापर करतील अशी आशा बाळगतो.

आरसा दृश्यमान असतो?

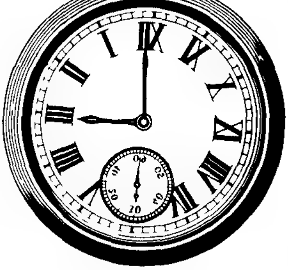
नेहमीच्या आरशाबाबत जी काही माहिती आहे ती पुरेशी नाही. याचा एक पुरावा मिळतो; कारण सर्वजण आरशाचा दररोज वापर करणारे असले तरी बहुतेकजण वरील प्रश्नाचे उत्तर चुकीचेच देतील. आरसा आप-णास दिसतो असे जे समजत असतील त्यांची चूक होत आहे. स्वच्छ, चांगला आरसा अदृश्य असतो. आरशाची चौकट दिसते, त्याची कड दिसते आणि

त्यात प्रतिबिंबित झालेले सारे काही दिसते, पण खुद्द आरसा आपण कधीच पाहू शकणार नाही. अर्थात तो डागाळलेला किंवा घाणेरडा असता कामा नये प्रकाश सर्व दिशांनी **विखुरणाऱ्या** विकिरणी पृष्ठभागाच्या तुलनेने प्रकाश **परावर्तित** करणारा प्रत्येक पृष्ठभाग अदृश्यच असतो. नेहमीच्या व्यवहारात परावर्ती पृष्ठभाग घासलेला ऊर्फ पॉलिश केलेला असतो, तर विकिरणी पृष्ठ-भाग निस्तेज व असमान असतो. आरशांचा वापर केलेल्या सर्व युक्त्या किंवा लबाड्या–उदा. बोलके डोके – या खास करून त्याच्या अदृश्यतेवर आधारलेल्या असतात. आपण जेव्हा आरसा "पाहतो" तो आरसा नसून वास्तविक निर-निराळ्या वस्तूंचे प्रतिबिंब असते.

आरशातील आपण, आपणच का ?

सर्वजण असेच उत्तर देतील की आरशात आपण स्वतःसच पाहतो, अगदी लहानसहान गोष्टीमध्येही ती आपलीच नक्कल असते. हे उत्तर थोडे सूक्ष्मपणे तपासून पाहूया. समजा, आपल्या उजव्या गालावर तीळ आहे. आर-शात जी व्यक्ती पाहता तिच्या डाव्या गालावर तीळ असतो. आपण **उजवी-कडील** केस विंचरत असाल तर आरशातील आपला तोतया **डावीकडचे.** आपली उजवी भुवई, डाव्या भुवईपेक्षा किंचित उंचावलेली व अधिक दाट असेल; पण आरशातील आपल्या नकलेबाबत याउलट परिस्थिती आढळते. आपण घड्याळ नेहमी उजवीकडच्या खिशात ठेवत असाल आणि पाकिट डावीकडच्या खिशात, पण आपल्या तोतयाच्या नेमक्या याउलट सवयी अस-तात. त्याच्या घड्याळाची तबकडी जरा निरखून पाहा. आपले घड्याळ त्याच्या-प्रमाणे अजिबात नसते. त्याच्या तबकडीवरील आकडे व त्यांची मांडणी आपणास अत्यंत विचित्र वाटेल. त्यातील आठ हा आकडा पूर्वी कधीच त्या-प्रमाणे – IIX असा– काढलेला आपण पाहिला नसेल. शिवाय तो बाराचे जागी गेलेला असतो. विशेष म्हणजे बारा हा आकडा त्याच्या घड्याळात नसतोच ! सहानंतर पाच, त्यानंतर चार, या उलट क्रमाने आकडे येत जातात. शिवाय आरशातील या घड्याळाचे काटे विरुद्ध दिशेने फिरतात.

सर्वात महत्त्वाची गोष्ट म्हणजे आपल्या तोतयाच्या अंगी एक व्यंग असून ते आपल्यातही मुळीच नसते. तो डावखुरा असतो. लिहिणे, शिवणे, खाणे या क्रिया तो डाव्या हाताने करतो. तुमच्या उजव्या हाताशी हस्तां-दोलनासाठी तो आपला डावा हात पुढे करेल. अखेर त्याची अक्षरओळख कोणत्या प्रकारची? त्याचे हे ज्ञान तर अतिशय वैचित्र्यपूर्ण असणार. त्याने हातात धरलेल्या पुस्तकातील किंवा त्याच्या डाव्या हाताच्या हस्ताक्षरातील एक ओळ तरी आपण वाचू शकाल की नाही याची मला शंकाच आहे.



आ. ९९ आरसा वापरा.

असा हा माणूस आपली सहीन्‌सही नक्कल असल्याचा दावा करतो आणि आपणही त्यास अगदी स्वत:सारखाच समजता. काय म्हणावे याला ?

पण विनोद बाजूस ठेवूया. आरशात पाहून आपण स्वत:चेच निरीक्षण करता अशी जर आपली खरोखरीच समजूत असेल तर आपली त्यात चूक होत आहे. बहुतेक सर्वांचा चेहरा, शरीर, कपडे अगदी समप्रमाणात कधीच नसतात. तथापि, जी काही असमानता असते ती आपल्या ध्यानात येत नाही एवढेच. उजवी बाजू अगदी डाव्या बाजूसारखी आढळत नाही. आरशामध्ये आपली डावी बाजू, उजव्या बाजूची सारी वैशिष्टये स्वीकारते तर उजवी बाजू डावीकडील. तर अशाप्रकारे आरशामध्ये आपण स्वत:ला पाहत नाही तर आपल्याशी अत्यंत कमी साम्य असलेल्या एखाद्या "परक्या" व्यक्तीस पाहतो.

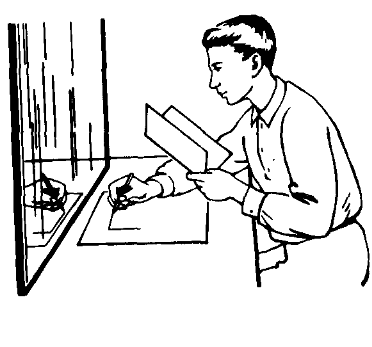
आरशात पाहून चित्र काढणे

आपण जर खालील प्रयोग करून पाहिला तर आपण आणि आपल्या प्रतिबिंबात सर्वस्वी सारखेपणा नसतो ही वस्तुस्थिती प्रकर्षाने जाणवेल. टेबलावर एक आरसा सरळ उभा ठेवा आणि कागदपेन्सिल घेऊन त्यासमोर बसा. आता हाताच्या प्रतिबिंबाकडे पाहून एखादी आकृती, उदा. लांबट चौकोन व त्याचे कर्ण काढण्याचा प्रयत्न करा (चित्र क्र. १००). हे वरवर साधेसुधे दिसणारे काम कमालीचे अवघड आहे याचे लगेच प्रत्यंतर येईल.

आपण जसेजसे मोठे होत जातो तसे तसे दृष्टिज्ञान व इतर अवयवांच्या हेतुत: होणाऱ्या हालचाली यांचा एक विशिष्ट प्रकारचा सुसंवाद किंवा मेळ बसत जातो. आरसा आपल्या हाताच्या हालचालीचे डोळ्यांना विपर्यस्त दृश्य दाखवितो व या सुसंवादास धक्का देतो. मग नैसर्गिकपणे

पडलेली मवय प्रत्येक हालचालीला विरोध करते. आपण उजवीकडे रेघ काढण्याचा प्रयत्न करतो, पण आपला हात पेन्सिल डावीकडे खेचतो. अधिक गुंतागुंतीच्या आकृत्या काढण्याचा किंवा लिहिण्याचा प्रयत्न केला तर परिस्थिती फारच चमत्कारिक होईल. या साऱ्या खटाटोपातून जे काही निष्पन्न होईल ते रेखाटणे म्हणजे निव्वळ हास्यास्पदच ठरेल.

टिपकागदावर जी अक्षरे उमटतात ती आपल्या हस्ताक्षराची आरशासारखीच समप्रमाणातील जणु परावर्तनेच असतात. पण ती वाचता येतात का पाहा. ही अक्षरे टिपकागदावर तशी स्पष्ट उमटलेली असतात खरी पण एक शब्ददेखील सरळपणे वाचता येत नाही. अक्षरे डावीकडे झुकलेली असतील आणि रेघा उलट्या आढळतील. पण हाच टिपकागद आरशासमोर धरून पाहताच आपले नेहमीचेच हस्ताक्षर दृष्टीस पडेल. खरे पाहता आपल्या हस्ताक्षराचे जे समप्रमाण परावर्तन टिपकागदावर उमटलेले असते त्याचेच परत समप्रमाण परावर्तन (पुनः परावर्तन) आरसा दाखवितो.



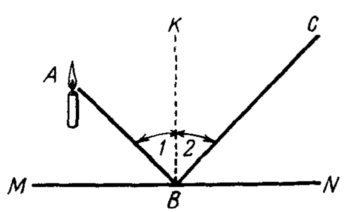
आ. १०० आरशासमोरील रेखाटन.

10 0867

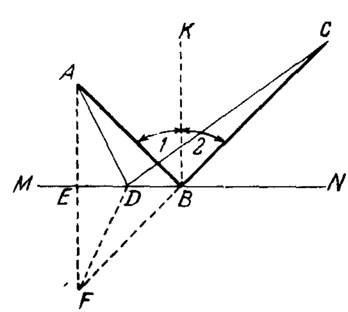
लघुत्तम आणि अतिजलद मार्ग

एकजिनसी माध्यमातून प्रकाश नेहमीच रेखीय ऊर्फ सरल मार्गाने प्रसारित होतो, म्हणजेच अतिजलद मार्गाने जातो. आरशापासून परावर्तित होतानासुद्धा प्रकाश अतिजलद मार्गाचीच निवड करतो. हा मार्ग कोणता ते पाहूया. आ. १०१ मध्ये A हे प्रकाशाचे उद्गमस्थान (मेणबत्ती), MN हा आरसा आणि ABE हा प्रकाशाचा A पासून C बिंदूपाशी असणाऱ्या डोळ्यापर्यंतचा मार्ग आहे. KB ही रेषा MN ला लंब आहे.

प्रकाशविज्ञानाच्या नियमानुसार, आपाती कोन १ हा परावर्तित कोन २ बरोबर आहे. हे एकदा ध्यानात घेतल्यावर, प्रकाशकिरणाचे MN पासून परावर्तन होऊन तो A पासून C पर्यंत ज्या ज्या मार्गांनी जाईल त्या सर्वांपैकी ABC हा सर्वात लहान मार्ग होय. हे आपणास पुढीलप्रमाणे अगदी सहजपणे सिद्ध करता येते. त्यासाठी ABC या मार्गाची दुसऱ्या कोणत्यातरी मार्गाशी–उदा. ADC (आ. १०२) या मार्गाशी – तुलना केली पाहिजे. A या बिंदूतून MN वर हा लंब टाका आणि तो इतका वाढवा की वाढत जाणाऱ्या किरणास F मध्ये छेदेल. मग सरळ रेषेने F आणि D हे बिंदू जोडा. प्रथमतः ABE व EBF हे दोन त्रिकोण सारखेच म्हणजे एकरूप आहेत का ते पाहूया. काटकोनानजिकची EB ही रेषा दोन्ही त्रिकोणांना सामाईक आहे. दोन्ही त्रिकोण काटकोनयुक्त आहेत. याखेरीज, ∠ ABC आणि ∠ EFB हे समान आहेत. कारण ते अनुक्रमे ∠ २ व ∠ R या कोनांबरोबर आहेत. यानुसार A E रेषा



आ. १०१ परावर्तन कोन २ हा आपात कोन १ बरोबर असतो.



आ. १०२ परावर्तित प्रकाश लघुतम मार्ग निवडतो.

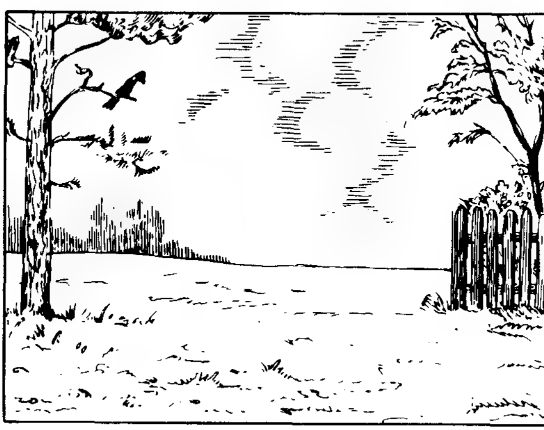
EF रेषेएवढी आहे. एकूण, AED व EDF हे त्रिकोण एकरूप आहेत. कारण त्या प्रत्येकाच्या काटकोनानजिकच्या रेषा समान आहेत. तेव्हा AD बरोबर DF हे ओघानेच आले.

आपणास असे म्हणता येईल की हा मार्ग CBF मार्गाइतका आहे, कारण AB रेषा FB एवढीच आहे कारण ADC व CDF हे मार्ग समान आहेत. CBF आणि CDF यांची तुलना करता CBF ही सरळ रेषा CDF पेक्षा लहान आहे. म्हणजेच ABC हा मार्ग ADC मार्गापेक्षा लहान आहे आणि हेच आपणास सिद्ध करावयाचे होते.

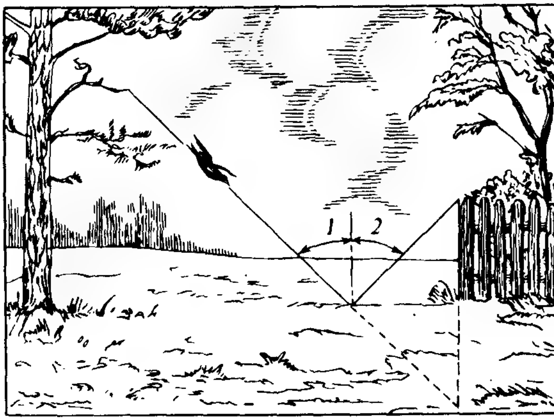
बिंदू कुठेही असो, ABC हा मार्ग, ADC मार्गापेक्षा नेहमीच लहान असणार. प्रकाश, त्याचे उद्‌गमस्थान, आरसा व एक डोळा यांच्यामधल्या शक्य-तेवढ्या मार्गापैकी सर्वात लहान व सर्वात जलद मार्गच नेहमीच निवडतो. अलेक्झांदर हेरॉन या दुसऱ्या शतकातील सुप्रसिद्ध ग्रीक गणितज्ञाने ही वस्तुस्थिती प्रथम निदर्शनास आणली.

कावळ्याची झेप

सर्वात लहान मार्ग ठरविण्याची वरील पद्धत पुष्कळदा कटू प्रश्न सोडविण्यास उपयुक्त ठरते.



आ. १०३ कावळ्याची समस्या, जमीन आणि कुंपण यातील उड्डाणाचा लघुतम मार्ग शोधा.



आ. १०४ कावळ्याच्या समस्येचे उत्तर.

एक कावळा झाडाच्या फांदीवर बसलेला असून खाली जमीनीवर धान्याचे दाणे विखुरलेले आहेत. कावळा खाली झेप घेतो, दाणे टिपतो व समोरच्या कुंपणावर जाऊन बसतो. प्रश्न असा की अगदी लहान मार्गासाठी कोणत्या ठिकाणचे दाणे कावळ्याने टिपले पाहिजेत? (चित्र १०३) आताच आपण उहापोह केलेल्या प्रश्नाशी हा प्रश्न अगदी मिळताजुळता असल्याने त्याचे बरोबर उत्तर आपणास नक्कीच देता येईल. कावळ्याने प्रकाश किरणाच्या मार्गाने गेले पाहिजे म्हणजेच कोन२ याबरोबर कोन१ होईल, अशाप्रकारे उडले पाहिजे (आ. १०४). हाच मार्ग सर्वात लहान असतो हे हे आपणास ठाऊक झालेच आहे.

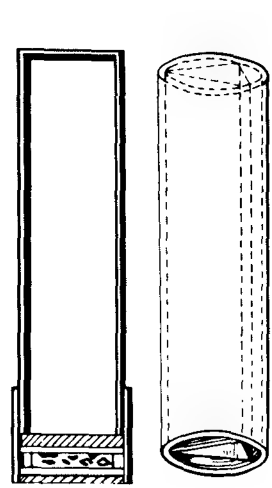
शोभादर्शक

हे उपकरण आपणा सर्वांना ठाऊक असावे असे वाटते. या अत्यंत मनोरंजक उपकरणात तीन काचा असून त्यामध्ये रंगीबेरंगी काचांचे तुकडे टाकलेले असतात. शोभादर्शकास थोडा धक्का देताच या तुकड्यांच्या जागा बदलून समप्रमाण अशा विलक्षण आकर्षक आकृत्या तयार होतात. हे अगदी नेहमीच्या पाहण्यातील उपकरण खरे, पण त्यामध्ये वेगवेगळ्या अशा किती आकृत्या तयार होत असाव्यात याची कोणालाच कल्पना नसेल. समजा त्यामध्ये रंगीबेरंगी काचांचे २० तुकडे आहेत व प्रत्येक मिनिटामध्ये त्यास दहा वेळा धक्का देऊन दहा नव्या आकृत्या पाहत आहोत. या २० तुकड्यांमुळे बन-

णाऱ्या सर्वच्या सर्व आकृत्या बघण्यास किती वेळ लागेल? कल्पनाशक्तीला कितीही ताण दिला तरी अचूक उत्तराच्या अगदी जवळपासचे उत्तर देणे-सुद्धा अशक्य आहे. तयार होणारी प्रत्येक आकृती पाहावयाची म्हटली तरी ५०० कोटी वर्षे हवीत!! या कालावधीत पर्वत नाहीसे होतील, समुद्र कोरडे होतील पण आकृत्या बघणे काही संपणार नाही.

सतत बदलणाऱ्या आणि एकासारखी दुसरी कधीच नसणाऱ्या या आकृत्यांनी अनेक कलावंतांना बऱ्याच काळापासून बेचैन केले. त्या सर्वांच्या सांघिक प्रयत्नांमधूनही एवढ्या प्रचंड संख्येत आणि वैचित्र्यपूर्ण आकृत्या किंवा नक्षीचे नमुने कधीच तयार होणार नाहीत. भिंतीवर चिकटविण्याचा नक्षीदार कागद, गलिच्यांवरील कलाकुसरीचे नमुने आणि कापडावरील नक्षीकाम यासाठी शोभादर्शक जेवढे नमुने देईल तेवढे कोणालाच देता येणे कदापी शक्य नाही. तथापि, शंभर वर्षांपूर्वी या उपकरणाबद्दल जेवढे कुतूहल व जिज्ञासा होती तेवढी ती आज मुळीच नाही. त्यावेळी लोकांना या उपकरणाने एवढे वेड लावले होते की कविजनांच्याही स्तुतीचा तो विषय झाला होता.

इंग्लंडमध्ये १८१६ साली शोभादर्शकाचा शोध लागला. त्यानंतर अवघ्या वर्ष-दीड वर्षातच साऱ्या जगभर त्याचे नाव झाले. "**इस्कानदान**" नामक एका रशियन मासिकाच्या जुलै १८१८ च्या अंकात ए. इज्माइलव्ह हा दंतकथाकार लिहितो, "शोभादर्शकात जे जे दिसते त्याचे वर्णन करण्यास भाषा असमर्थ आहे.



आ. १०५ शोभादर्शक व त्याची रचना.

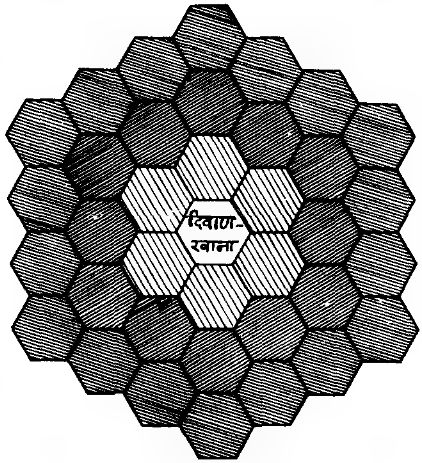
प्रत्येक धक्क्यास आकृती बदलते आणि एकसारखी दुसरी कधीच नसते. या आकृत्या तरी किती मोहक म्हणाव्यात; भरतकामासाठी त्या केवढ्या आदर्श ठरतात! पण अशा प्रकारच्या आकृत्या विणण्यासाठी एवढे चमकदार रेशीम कुठे मिळणार? खरोखरच, खिन्न, उदास मनाला दिलासा देणारे हे उपकरण असून पत्ते कुटण्यापेक्षा ते पाहत बसणे किती तरी चांगले आहे.

"असे म्हणतात की १७ व्या शतकापासूनच शोभादर्शक माहीत आहे. काही असो, एवढे खरे की काही काळापूर्वी इंग्लंडमध्ये त्यात सुधारणा करण्यात आली व त्यास परिपूर्ण स्वरूप दिले गेले. एका श्रीमंत फ्रेंच गृहस्थाने २० हजार फ्रँक देऊन काचेच्या तुकड्यांऐवजी मोती व हिरे वापरलेला शोभादर्शक तयार करून घेतला."

शोभादर्शकाबद्दल इज्माइलव्ह पुढे मजेदार दंतकथा सांगतो व अखेर, त्यावेळच्या काळातील जे बौद्धिक दारिद्र्य समाजात वसत होते त्याविषयी मोठी खेदजनक हकीकत सांगतो: "प्रकाशीय उत्कृष्ट दर्जाबद्दल प्रसिद्ध असणारा व राजाश्रय मिळालेला रोस्पीनी हा यंत्रविशारद शोभादर्शक तयार करून २० रुबलला तो विकत असे. त्याची भौतिकशास्त्र व रसायनशास्त्रावरील व्याख्याने ऐकण्याऐवजी या उपकरणाचेच बहुसंख्य लोकांना अधिक आकर्षण होते. बिचारा रोस्पीनी! ज्ञानप्रसाराच्या या कामात मात्र त्यास एका दिडकीचाही फायदा झाला नाही."

मायावी राजवाडे

जर शोभादर्शकातील काचेच्या तुकड्याएवढाच आकार आपणाला प्राप्त झाला व त्यामध्ये आपण प्रवेश केला आहे, तर मग आपणाला कसे वाटेल? इ. स. १९०० साली पॅरिस येथे भरलेल्या जागतिक प्रदर्शनात प्रेक्षकांना हा विस्मयजनक अनुभव घेण्याची संधी प्राप्त झाली. या प्रदर्शनात उभारलेला तथाकथित "मायावी राजवाडा" हे एक प्रमुख आकर्षण होते. एखाद्या भल्यामोठ्या शोभादर्शकाच्या अंतर्भागाप्रमाणे त्याचे स्वरूप होते. सहा बाजू असणाऱ्या दिवाणखान्याची कल्पना करा. या सहा बाजू ऊर्फ भिंती म्हणजे उत्तम प्रकारे पॉलिश केलेले व मोठे आकर्षक असे आरसे होते. प्रत्येक कोपऱ्यात सुबक, नक्षीदार खांब असून ते छताच्या कलापूर्ण सजावटीत मिसळून गेले होते. या दिवाणखान्यात प्रेक्षक शिरताच अगदी आपल्यासारखेच अनेक प्रेक्षक उपस्थित आहेत असे तर पाहावयास मिळेच पण त्याची दृष्टी जेथपर्यंत पोहोचेल तेथपर्यंत जिकडेतिकडे खांब असणारे दिवाणखानेच दिवाणखाने दिसत. आ. १०६ मध्ये उभ्या रेषा असणारे सहा दिवाणखाने एकेरी परावर्तनातून

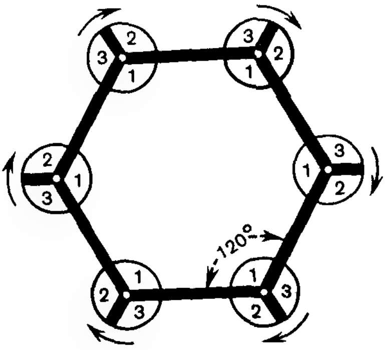


आ. १०६ मध्यवर्ती दिवाणखान्यातील आरसेयुक्त भिंतींमळे जे तिहेरी परावर्तन होते त्यामुळे ३६ प्रतिमा मिळतात.

तयार झालेले असून आडव्या रेषा असणारे १२ दिवाणखाने दुहेरी परावर्तनाचा परिणाम आहे. त्यानंतरचे तिरप्या रेषेतील १८ दिवाणखाने तिहेरी परावर्तनातून तयार झालेले आहेत. परावर्तनांच्या परावर्तनातून दिवाणखान्यांची संख्या वाढत जाते. मात्र त्यासाठी उत्कृष्ट दर्जाचे आरसे हवेत आणि ते एकमेकास अगदी समान्तर ठेवणे जरूर आहे. प्रत्यक्षात एखाद्यास बाराव्या परावर्तनातून ४६८ दिवाणखाने दिसतील.

प्रकाशाचे परावर्तन ज्या नियमांनुसार होते त्याच्याशी परिचित असणाऱ्यास या दृष्टिभ्रमाची निर्मिती सहजच ध्यानात येईल. या ठिकाणी समांतर आरशाच्या तीन जोडया व एकमेकांशी कोन करणाऱ्या दहा जोडया उपलब्ध झाल्यामुळे त्यातून अनेक परावर्तने निर्माण झाल्यास नवल नाही.

याच प्रदर्शनातील बदलत्या ऋतूंचा मायावी राजवाडाही मोठा कुतूहलजनक व चित्ताकर्षक ठरला. त्यातील असंख्य परावर्तनाशी जोडलेली व चटकन बदलणारी सजावटही उभारण्यात आली होती. दुसऱ्या शब्दात असेच म्हणावे लागेल की, आतमध्ये प्रेक्षक असणारा आणि जणू **फिरविता** येणारा तो एक भव्य शोभादर्शकच होता. ही किमया साधण्यासाठी या आरसेयुक्त





आ. १०७
१०८

" मायावी राजवाड्याचे " रहस्य.

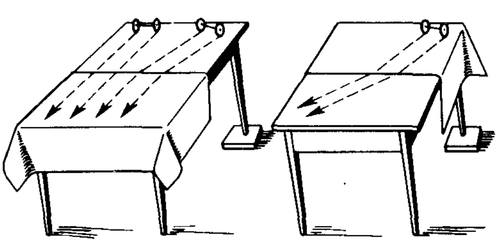
दिवाणखान्याचे कोपरे यांत्रिक साधनांनी फिरविले जात होते. आ. १०७ वरून असे दिसेल की, १, २ व ३ या कोपऱ्यांशी संबंधित असे तीन प्रकारचे बदल करता येतात. कल्पना करा की, पहिले सहा कोपरे रम्य वनश्रीच्या दृश्याने चितारलेले आहेत, त्यापुढील सहा कोपरे एखाद्या अमीर-उमरावाच्या राजवाड्यातील अंतर्भागाचे दृश्य दाखविणारे आहेत तर उर्वरित सहा कोपरे भारतातील मंदिराचे दर्शन देणारे आहेत. कोपऱ्यांच्या वरच्या बाजूस दडविलेल्या यंत्रणेद्वारे एक गिरकी देताच वनश्रीच्या दृश्याचे राजवाड्यात तात्काळ रूपांतर होत असे अथवा मंदिराच्या दृश्यात रुपांतर होत असे. दृष्टिभ्रमाचा

हा सारा खेळ, प्रकाशीय परिवर्तनाच्या साध्यासुद्धा भौतिकी आविष्कारावर आधारलेला आहे.

प्रकाशाचे वक्रीभवन : का व कसे ?

एका माध्यमातून दुसऱ्या माध्यमात प्रवेश करताना किंवा बाहेर पडताना प्रकाशाच्या मार्गदिशेत बदल होतो अथवा तो वक्रीभूत होतो ही वस्तुस्थिती खरी पण तो निसर्गाचा लहरीपणाच असावा असेच अनेकांना वाटते. प्रकाश आपली पूर्वीचीच दिशा कायम का राखीत नाही या प्रश्नाने कित्येक जण घोटाळ्यात पडलेले आहेत. आपलासुद्धा असाच काहीसा घोटाळा झाला असेल. तर मग पक्क्या रस्त्याऐवजी खराब रस्ता ओलांडताना कवायतीत चालणारी पलटण जशी वागते तसाच प्रकार प्रकाशाच्या बाबतीतही घडतो हे ऐकून आपणास नक्कीच मौज वाटेल.

प्रकाश कसा वक्रीभूत होतो हे पाहण्यासाठी हा एक अगदी सोपा प्रयोग करून पाहा. टेबलावरील आच्छादनाची घडी करून ती आ. १०९ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे टेबलावर अर्ध्या भागावर अंथरा. आच्छादनाच्या विरुद्ध बाजूचे पाय उंचावून टेबल थोडे कलते ठेवा. नंतर खेळण्या-मोटारीची किंवा इतर वस्तूंची आसासहित चाकांची जोडी घेऊन ती टेबलाच्या उतरणीवार सोडा. त्यांचा मार्ग आच्छादनाच्या घडीस लंबरूप ठेवला असता त्यामध्ये बदल होणार नाही. म्हणजेच दोन भिन्न माध्यमांच्या सीमेपाशी प्रकाश जर लंबरूपाने पडला तर तो वक्रीभूत होत नाही, हा प्रकाशीय नियमच यामुळे सिद्ध होतो. पण आच्छादनाच्या घडीस काहीसा तिरपा असा जर चाकांचा मार्ग ठेवला तर घडीपाशी, म्हणजेच दोन भिन्न माध्यमांच्या सीमारेषेपाशी दिशेत बदल घडतो. या ठिकाणी—बिंदूपाशी—गतीत बदल झाल्याचे पहावयास मिळते.



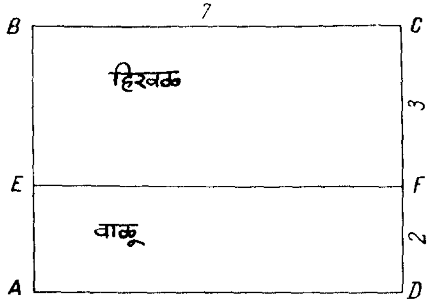
आ. १०९
प्रकाशाच्या वक्री भवनाचा खुलासा.

टेबलाच्या ज्या भागात गती अधिक आहे (म्हणजेच आच्छादन नसलेला भाग) त्यापासून ज्या भागात गती कमी आहे (म्हणजेच आच्छादिलेला भाग) अशा भागात जाताना चाकांची दिशा ("किरण") लंबरूप दिशेच्या नजिक असते; पण इतर मार्गाने घरंगळताना ती लंबरूपापासून अधिक दूर जाते.

वेगळया माध्यमात घडून येणारा गतीतील बदल हे जे वक्रीभवनाचे सार, ते या प्रयोगातून ओघानेच सिद्ध होते. गतीतील बदल जेवढा जास्त तेवढा वक्रीभवनाचा कोन अधिक, कारण दिशेतील अधिक बदल दर्शविणारा "वक्रीभवनांक" म्हणजे दुसरेतिसरे काही नसून दोन गतीतील गुणोत्तरच असते. हवेतून पाण्यात जाताना जर वक्रीभवनांक ४/३ असेल तर त्याचा दुसरा अर्थ असा होतो की, प्रकाश, पाण्यापेक्षा हवेतून १/३ पट जादा वेगाने मार्गक्रमण करतो. यातूनच प्रकाशाचे आणखी एक वैशिष्टच सहजगत्या पाहावयास मिळते. परावर्तनाच्या वेळी प्रकाश सर्वात **लघु मार्गाने** जातो तर वक्रीभवनाचे वेळी तो **अत्याधिक वेगळा** मार्ग निवडतो. या वाकडया मार्गाखेरीज दुसरा कोणताच मार्ग त्यास आपल्या "मुक्कामी" अधिक जलद पोहोचवणार नाही.

लांबचा मार्ग केव्हा जलद पार करता येतो !

सरळ मार्गाऐवजी वेडावाकडा मार्ग खरोखरीच मुक्कामाच्या (लक्ष्याच्या) ठिकाणी कमी वेळात नेईल काय ? जरूर, जर आपण मार्गाच्या



आ. ११० सैनिकी निरोप्याची समस्या.
A ते C यातील अत्याधिक
जलद नेणारा मार्ग शोधा.

वेगवेगळया भागांत वेगवेगळया वेगाने गेलो तर जेव्हा एखादे गाव दोन रेल्वेस्थानकांच्या दरम्यान वसलेले असेल तर तेथील रहिवाशी काय करतात याचे थोडे स्मरण करूया. दूरवर असलेल्या स्थानकावर **जलद** पोहोचण्यासाठी प्रथम ते टांग्याने जवळच्या स्थानकावर जातील आणि तेथून रेल्वेने आपले लक्ष्य गाठतील. जर ते टांग्यानेच सरळ आपल्या लक्ष्यापर्यंत म्हणजे दूरवर असलेल्या स्थानकापर्यंत जातील तर तो **छोटा** मार्ग ठरेल. परंतु ते टांग्याने आणि रेल्वेने आपले लक्ष्य गाठणे पसंत करतील, कारण यामुळेच ते जलद पोहोचतात.

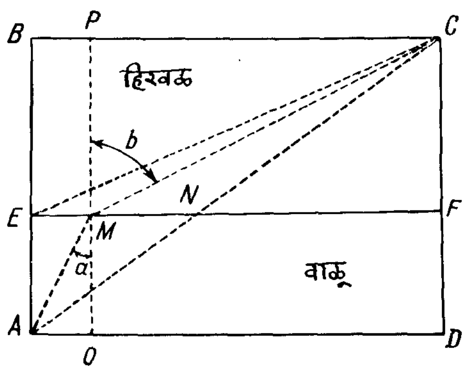
आणखी एक उदाहरण पाहूया. सैन्यदलातील निरोप्यास A छावणीकडून C छावणीकडे काही खलिते पोहोचविण्याचा आदेश देण्यात आला आहे (आ. ११०). या दोन छावण्यांमध्ये EF रेषेने विभागले गेलेले असे हिरवळीचे व वाळूचे पट्टे आहेत. वाळूचा पट्टा ओलांडण्यास हिरवळीच्या तुलनेने दुप्पट वेळ लागतो हे आपणास ठाऊक आहे, तर मग खलिते लवकर पोहोचविण्यास निरोप्या कोणता मार्ग निवडेल?

वरवर पाहता एखाद्यास असेच वाटेल की, A आणि C या दोन छावण्यांना जोडणारी सरळ रेषा हाच तो मार्ग असेल. पण मला नाही वाटत की कोणताही विचारी घोडेस्वार या मार्गाची निवड करील; कारण वाळूचा पट्टा ओलांडण्यास दुप्पट वेळ लागत असल्यामुळे त्यातून शक्य तेवढे तिरपे जाऊन वेळेची बचत करावी असा विचार त्याच्या मनात नक्कीच येईल. यामुळे हिरवळीमधून जाणारा मार्ग लांबेल खरा पण त्यातून तो दुप्पट गतीने जात असल्यामुळे हे अंतर म्हणजे प्रत्यक्षात कमी वेळ असाच त्याचा अर्थ होतो. वेगळया भाषेत असे म्हणावे लागेल की, त्याचा मार्ग हिरवळ आणि वाळू यांच्या सीमारेषेशी **वक्रीभूत** झाला पाहिजे. आणखी असे की, वाळूतील मार्ग, सीमेस लंबरूप असणाच्या रेषेशी जो कोन करेल त्यापेक्षा अधिक रुंद कोन हिरवळीतील मार्गाने या लंबाशी केला पाहिजे.

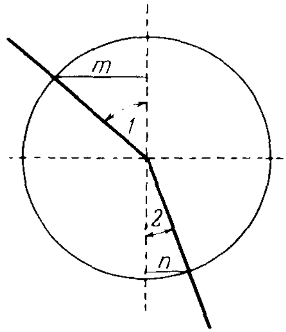
आता आपल्या लक्षात येईल की, प्रत्यक्षात AC हा जलद नेणारा मार्ग नाही. आ. ११० मधील दोन पट्यांची रुंदी आणि अंतरे लक्षात घेता, निरोप्याने AEC असा वाकडा मार्ग स्वीकारला तरच तो आपल्या मुक्कामास अधिक लवकर पोहोचेल. (आ. १११). आकृती ११० मधील वाळूच्या पट्याची रुंदी २ कि. मी.; हिरवळीच्या पट्ट्याची रुंदी ३ कि. मी. आणि BC हे अंतर ७ कि. मी. आहे. पायथॅगोरसच्या सिद्धांतानुसार A पासून C पर्यंतचा संपूर्ण मार्ग (आ. १११), $\sqrt{५^२+७^२}=\sqrt{७४^२}=८\cdot६०$ कि. मी. भरतो. यापैकी वाळूतील मार्ग किंवा AN ह्या भागाची लांबी AC ह्या मार्गाच्या

दोन-पंचमांश म्हणजेच ३.४४ कि. मी. आहे. वाळूतून जाण्यास दुप्पट वेळ लागत असल्यामुळे वेळेच्या दृष्टिकोनातून वाळूतील ३.४४ कि. मी. म्हणजे हिरवळीतील ६.८८ कि. मी. होतात. म्हणजे ८.६० कि. मी. लांबीचा व सरळ असा AC मार्ग, हिरवळीतील १२.०४ कि. मी. च्या बरोबरीचा होतो. आता AEC हा वाकडा मार्ग, हिरवळीतील केवढ्या मार्गाबरोबरीचा ठरतो ते पाहूया. AE हा भाग २ कि. मी. चा असून तो हिरवळीतील ४ कि. मी. मार्गाएवढ्या लांबीचा ठरतो. म्हणजे एकूण AEC हा वाकडा मार्ग = AE + EC = ४ + ७.६१ = ११.६१ कि. मी. लांबीचा होतो.

आता आपल्या ध्यानात येईलच की, हिरवळीत लहान "सरळ" मार्ग १२.०४ कि. मी. भरतो. तर लांब, वाकडा मार्ग ११.६१ कि. मी. लांबीचा आहे; म्हणजेच, १२.०४ − ११.६१ = ०.४३ किंवा जवळजवळ अर्ध्या कि. मी. ने कमीच भरतो. पण हासुद्धा अगदी जलद नेणारा मार्ग नाहीच. तात्त्विकदृष्ट्या हे असेच ठरते की, ज्यामध्ये कोन b ची ज्या व कोन a ची ज्या यांचे गुणोत्तर, हिरवळीतील गती व वाळूतील गतीच्या गुणोत्तराएवढीच म्हणजे २:१ आहे. दुसऱ्या शब्दात असे म्हणता येईल की, आपण अशी दिशा निवडली पाहिजे की कोन b ची ज्या, कोन a च्या ज्या च्या दुप्पट होईल. या दृष्टीने वाळू व हिरवळ यातील सीमारेषा आपण M या बिंदू-पाशी—जो E बिंदूपासून १ कि. मी. दूर आहे—ओलांडली पाहिजे. मग



आ. १११ सैनिकी निरोप्याच्या समस्येचे उत्तर.
AMC हा जलद नेणारा मार्ग होय.



आ. ११२ ज्या म्हणजे काय? **m** व त्रिज्या यांचे गुणोत्तर म्हणजे कोन **1** ची ज्या होय. **n** व त्रिज्या यांचे गुणोत्तर म्हणजे कोन **2** ची ज्या होय.

ज्या $\angle b = \frac{६}{\sqrt{३^२+६^२}}$ तर ज्या $\angle a = \frac{१}{\sqrt{१^२+२^२}}$ आणि त्यांचे गुणोत्तर म्हणजेच $\frac{ज्या \angle b}{ज्या \angle a} = \frac{१}{\sqrt{४५}} \cdot \frac{१}{\sqrt{५}} = \frac{६}{३\sqrt{५}} \cdot \frac{१}{\sqrt{५}} =$ २ व तेच दोन गतीतील नेमके गुणोत्तर आहे. हिरवळीतील मार्गात हा मार्ग रुपांतरित केल्यास किती भरेल? तर AM $= \sqrt{२^२+१^२} =$ ४.४७ कि. मी. एवढा हिरवळीतून जाणारा आणि MC $= \sqrt{४५} =$ ६.७१ कि. मी. कळीतून जाणारा व त्यांची बेरीज ११.८८ कि. मी होते. हिरवळीतील मार्गात रुपांतरित केलेल्या व सरळ अशा १२.०४ कि मी मार्गापेक्षा तो ८६० मी ने **लहान** ठरतो

विशिष्ट परिस्थितीत "वाकडा" मार्गापासून कसा फायदा करून घ्याव- याचा हे या उदाहरणावरून चांगले लक्षात येईल. प्रकाश नैसर्गिकरीत्याच वेगाने नेऊ शकणारा मार्ग निवडतो कारण प्रकाशाच्या वक्रीभवनाचा नियम गणिताद्वारे मिळणाऱ्या निष्कर्षांशी तंतोतंत जुळतो. वक्रीभवनाच्या कोनाची ज्या व आपाती कोनाची ज्या यांचे गुणोत्तर हे, प्रकाशाची नव्या माध्यमातील गती व पहिल्या (पूर्वीच्या) माध्यमातील गती यांच्या गुणोत्तराएवढेच असते. हे गुणोत्तर म्हणजेच विशिष्ट माध्यमाचा वक्रीभवनांक असतो. परावर्तन आणि वक्रीभवन यांची वैशिष्टये एकत्र गुंफली असता आपणास "फेरमाचे तत्त्व" पहावयास मिळते. भौतिकशास्त्रज्ञ त्यास कधी कधी "लघुत्तम कालाचे तत्त्व"

असेही म्हणतात. या तत्त्वानुसार प्रकाश **नेहमीच अत्याधिक वेगाने नेणाऱ्या मार्गाची निवड** करतो.

जेव्हा माध्यम बहुजिनसी असतो व त्याचे वक्रीभवनविषयक गुणधर्म बदलते रहातात---उदा. पृथ्वीच्या वातावरणांप्रमाणे---त्याप्रसंगीही "लघुतम काळाचे तत्त्व" पाळले गेल्याचे आढळून येते. दूरस्थ ज्योतींपासून (ताऱ्यांपासून) आपल्या वातावरणात येणारा प्रकाश किंचित बाकदार का याचे कारण त्यामुळे स्पष्ट होते. खगोलशास्त्रज्ञ त्यास "वातावरणीय वक्रीभवन" असे म्हणतात. जो जो जमीनीनजिक यावे तो तो वातावरण अधिकाधिक दाट होत जाते. त्यामध्ये प्रकाश अशाप्रकारे वाकतो की, वक्रतेची आतली बाजू पृथ्वीकडे असते. प्रसरणास कमीत कमी अडथळा असणाऱ्या अशा वरच्या थरात प्रकाश अधिक वेळ खर्च करतो आणि खालच्या "मंदशा" थरात कमी वेळ घेतो. अशा तऱ्हेने, सरळ मार्ग काटेकोरपणे अवलंबिला असता लागणाऱ्या वेळेपेक्षा वरीलप्रमाणे मार्गक्रमण करून आपल्या मुक्कामी तो अधिक लवकर पोहोचतो.

फेरमाचे तत्त्व केवळ प्रकाशाबाबतच लागू पडते असे नसून **ध्वनी** व सर्व प्रकारच्या **तरंगांच्या** बाबतीतही सर्वसाधारणपणे लागू पडते. त्यांचे **स्वरूप कोणत्याही प्रकारचे असले तरी या तत्त्वानुसारच** त्यातून प्रकाशाचे प्रसरण होते. हे असे का व्हावे हे जाणण्याची आपणास बहुदा उत्सुकता असेल. त्यासाठी, सुप्रसिद्ध भौतिकशास्त्रज्ञ व नोबेल पारितोषिक विजेते डॉ. स्रोडिंगर यांनी १९३३ मध्ये, स्टॉकहोम येथे नोबेल पारितोषिकाचा स्वीकार करताना जो निबंध वाचला त्यातील काही भागच या गोष्टीचे स्पष्टीकरण करेल. क्रमाक्रमाने बदलत जाणाऱ्या घनतेच्या माध्यमातून प्रकाश कशाप्रकारे मार्गक्रमण करतो याबाबत बोलताना ते म्हणाले :

"कल्पना करा की, सर्व सैनिक काटेकोरपणे एका रेषेत रहावेत यासाठी त्यांनी एक लांब काठी छातीशी घट धरली आहे. मग हुकूम सुटतो की, "तेज चल !" जर जमीन क्रमाक्रमाने बदलणारी असेल तर प्रथम उजवीकडचे व नंतर डावीकडचे सैनिक अधिक वेगाने धावू लागतील आणि सर्वांनी छातीशी धरलेली काठी गोलाकार फिरेल, म्हणजेच सैनिकांच्या रांगेची गतीदिशा आपोआप वाकडी होईल. लक्षात घ्या की, चालून गेलेला रस्ता सरळ नसून वाकडा आहे. अशा विशिष्ट मार्गाने लक्ष्य गाठण्यासाठी लागणारा वेळ लक्षात घेता तो लघुत्तम मार्गच ठरतो हे उघड आहे."

आधुनिक रॉबिन्सन क्रूसो

ज्यूल वेर्न याचे **"रहस्यमय बेट"** हे पुस्तक आपल्या वाचनात आले

आहे काय ? त्यातील पात्रे एका वाळवंटी बेटावर अडकून पडतात. त्यांच्याजवळ काड्यापेटी किंवा चकमक असे कोणतेच साधन नसूनही ते अग्नी पेटवितात. याच कामासाठी रॉबिन्सन क्रूसोला आकाशातील विजेने मदत केली. केवळ ज्यूल वेर्नच्या कादंबरीतील कल्पक व सुशिक्षित इंजिनियरच्या मदतीस त्याचे भौतिकशास्त्राचे ज्ञान धावून आले. त्यातील पेनक्राफ्ट हा भोळाभाबडा खलाशी शिकारीहून परतला असता सदरहू इंजिनियर आणि एक वार्ताहर धगधगत्या शेकोटीभोवती गप्पा मारीत आहेत असे पाहून तो थक्कच झाला.

'"पण ही शेकोटी पेटवली कोणी ?" पेनक्राफ्टने विचारले.

"सूर्याने !"

वार्ताहर गिडिऑन स्पिलेटने दिलेले हे उत्तर अगदी बरोबर होते. खुद्द सूर्याने अग्नी पुरवावा याचे पेनक्राफ्टला फारच आश्चर्य वाटले. त्याचा स्वतःच्या डोळ्यांवर विश्वासच बसेना. त्या भांबावलेल्या मनःस्थितीत आणखी काही विचारण्याचे त्यास भानच राहिले नाही.

"आपल्याजवळ काचेचे भिंग वगैरे आहे का ?" हर्बर्टने विचारले.

"छे, मुळीच नाही," इंजिनियरने उत्तर दिले. "पण मी ते बनविले." असे म्हणून त्याने भिंगाप्रमाणे उपयोगी पडलेले एक साधन दाखविले. ते म्हणजे स्वतःच्या व वार्ताहराच्या घड्याळांच्या निव्वळ काचा होत्या. त्यांमध्ये पाणी भरून त्यांच्या कडा मातीने बंद करण्यात आल्या होत्या व अशाप्रकारे भिंग तयार केलेले होते. या "भिंगा"च्या सहाय्याने वाळलेल्या गवतावर सूर्याचे किरण केंद्रीभूत करताच त्याने पेट घेतला.

त्या दोन तबकड्यांमधली पोकळी पाण्याने का भरली असावी हे जाणण्याची इच्छा बहुदा आपल्या मनात निर्माण झाली असावी. हा माझा तर्क बरोबर आहे ना ? केवळ हवेने भरलेल्या "त्या" भिंगामार्फत सूर्यकिरण पुरेसे केंद्रीभूत का होऊ नयेत ? तसे होणारच नाही. घड्याळाची काच ही बाहेरच्या व आतल्या समकेंद्री व समांतर अशा दोन थरांनी (बाजूंनी) तयार झालेली असते. भौतिकशास्त्राच्या तत्त्वानुसार प्रकाश जेव्हा अशा प्रकारच्या थरांनी बनलेल्या माध्यमातून जातो तेव्हा तो आपली दिशा जवळजवळ तीच ठेवतो. दुसऱ्या काचेतून जातानासुद्धा तो वक्रीभूत होत नाही. अशा परिस्थितीत एकाच बिंदूपाशी प्रकाशकिरण एकत्रित होणे शक्य नाही. तसे होण्यास दोन काचांमधली पोकळी, हवेपेक्षा उत्तमप्रकारे किरण वक्रीभूत होतील. अशा पारदर्शक माध्यमाने भरली पाहिजे. ज्यूल वेर्नच्या कथेतील इंजिनियरने पोकळीत पाणी भरून नेमके हेच साधले.

कोणताही पाण्याने भरलेला चेंडूसारखा काचेचा गोळा अग्नी पेटविण्यासाठी भिंगाप्रमाणे उपयोगी पडेल.अशा तऱ्हेचे पाण्याने भरलेले काचपात्र चुकून उन्हात ठेवल्यामुळे नजिकचे पडदे, टेबलावरील आच्छादने, यासरख्या वस्तू पेटल्याची उदाहरणे आहेत. दुकानात सजावट म्हणून रंगीत पाण्याची गोलाकार पात्रे ठेवली जातात खरी पण ती आपला प्रताप दाखविण्यास —विशेषत: रसायनांच्या दुकानात—मागेपुढे पाहत नाहीत.

एखादे रिटॉर्ट ऊर्फ बकपात्र फक्त १२ सें. मी. व्यासाचे असले तरी घड्याळांच्या काचेतील पाणी उकळवू शकेल. केवळ १५ सें. मी. व्यासाच्या रिटॉर्टच्या सहाय्याने आपण १२० अंश सें. तपमान निर्माण करू शकता. काचेच्या भिंगाने तर आपण सिगरेट सहज पेटवू शकता. तथापि हे लक्षात घेतले पाहिजे की, पाणी भरून तयार केलेल्या भिंगापेक्षा काचेचे भिंग अधिक प्रभावी असते. एक तर पाण्याचा वक्रीभवनांक खूपच कमी असतो आणि वस्तू गरम करण्यास अतिशय उपयुक्त असे अतिरिक्त किरण पाण्यामार्फत प्रभावीपणे शोषिले जातात.

सूक्ष्मदर्शक भिंगे व लहानशा दुर्बिणी प्रचारात येण्यापूर्वीच्या हजार दीड हजार वर्षांपासूनच ग्रीकांना काचेच्या भिंगांचा हा अग्निनिर्मितीचा गुणधर्म माहीत होता. "**ढग**" या आपल्या सुप्रसिद्ध सुखान्तिकेत ॲरिस्टोफेनस याने त्यासंबंधी उल्लेख केला आहे सॉक्रेटिसने स्ट्रेप्टिॲसिडसपुढे टाकलेला प्रश्न लक्षात घेण्यासारखा आहे.

सॉक्रेटिस : "जर तुझ्याविरुद्ध कोणीतरी पाच टॅलेंट्सचे कर्ज घेतले असल्यासंबंधी दावापत्र लिहिले तर तू ते कसे काय नाहीसे करशील ?"

स्ट्रेप्टिॲडिस : "त्यावर मी एक मार्ग शोधला असून तो फारच कल्पक आहे असे आपणसुद्धा कबूल कराल. मला वाटते, वस्तू पेटविणारा जो एक पारदर्शक दगड रसायनाचे दुकानात मिळतो तो आपण पाहिलाच असेल."

सॉक्रेटिस : "म्हणजे ते काचेचे भिंग ना ?"

स्ट्रेप्टिॲडिस : "अगदी बरोबर."

साक्रेटिस : "पण त्याचा काय उपयोग ?"

स्ट्रेप्टिॲडिस : "जेव्हा ती व्यक्ती वचनचिठ्ठी लिहू लागेल तेव्हा मी त्याच्या मागे उभा राहुन एका भिंगाच्या सहाय्याने सूर्यकिरण एकत्रित करून लिखाणावर पाडेन व सर्व अक्षरांना वितळवून टाकेन."

या ठिकाणी एक खुलासा केला पाहिजे की, ॲरिस्टोफेनसच्या काळातील ग्रीक लोक मेणाविलेल्या शिळांवर किंवा पाट्यांवर लिखाण करत. ते

सहजगत्या वितळून पुसता येत असे हे सांगावयास नकोच.

अग्नी पेटविण्यास बर्फाची मदत !

अगदी बर्फसुद्धा फुगीर भिंगाप्रमाणे अग्नी पेटविण्यास उपयोगी पडतो, मात्र तो अगदी पारदर्शक हवा. आणखी एक सांगण्यासारखी वस्तुस्थिती म्हणजे या क्रियेत बर्फ तापत नाही की वितळत नाही. त्याचा वक्रीभवनांक पाण्यापेक्षा अगदी थोडासाच कमी असतो. म्हणूनच पाण्याने भरलेले फुगीर भिंग ज्याप्रमाणे अग्निनिर्मितीस उपयोगी पडते त्याचप्रमाणे बर्फाच्या ठोकळ्यासही तसा आकार दिल्यास त्याचाही वापर करता येईल. ज्यूल वेर्नच्या, "**कॅप्टन हॅरासची साहसे**" या पुस्तकात अशा प्रकारे अग्नी निर्माण केल्याचा उल्लेख आहे. त्यातील प्रवासी शून्याखाली ४८ अंश सें. तपमान असणाऱ्या कडाक्याच्या थंडीत तर सापडतातच शिवाय त्यांच्याजवळ विस्तव पेटविण्यासाठी कोणतेच साधन नसते.

"फारच कमनशिबी आहोत," कॅप्टन निराशेच्या सुरात उद्गारले.

"हां, खरे आहे." डॉक्टरांनी म्हटले.



आ. ११३ 'डॉक्टरांनी सूर्याचे तेजस्वी किरण जळावू वस्तूवर केन्द्रिभूत केले.'

11-0867

"आपणाजवळ साधे काचेचे भिंगही नसावे ना!"

"ही तर आणखी दुर्दैवाची गोष्ट आहे. खरे तर झाडपाला पेटविण्याइतपत सूर्यप्रकाश तीव्र आहे...." डॉक्टर स्वतःशीच पुटपुटले.

"आपणास आता कच्चे मांस खावे लागणार" कॅप्टन म्हणाले. त्यावर, काहीसे खिन्न झालेले डॉक्टर उल्हसित होऊन म्हणाले, "पण थांबा. एक मार्ग दिसतो आहे. अखेरचा प्रयत्न म्हणून....

"कोणता ?" हॅरासने कुतुहलाने विचारले.

"मला एक कल्पना सुचली आहे."

"तर मग वाचण्याची आशा आहे तर." काहीजण आनंदाने ओरडले.

"कोणती कल्पना ?" कॅप्टननेही उत्सुकतेने विचारणा केली.

"आपल्याजवळ काचेचे भिंग नाही खरे, पण आपण ते बनवू शकतो."

"ते कसे ?" एका प्रवाशाने विचारले.

'बर्फाच्या तुकड्यापासून."

"त्याचा उपयोग होईल ?"

"का नाही होणार ? गवतावर सूर्यकिरण केंद्रित करण्यात बर्फाचा तुकडा नक्कीच मदत करेल. पण त्यासाठी गोड्या पाण्याचा बर्फ अधिक चांगला. तो चांगला पारदर्शक असतो आणि चट्‌कन फुटततुटतही नाही."

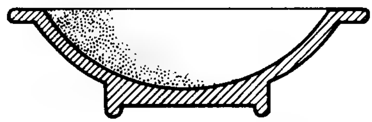
"तो पहा तिकडे एक बर्फाचा ठोकळा दिसत आहे." एकाने शंभरएक पावलावर दिसणाऱ्या बर्फाकडे बोट दाखविले. "आपणास हवा तसाच असावा."

"दिसतो खरा. उचला कुऱ्हाडी आणि चला तिकडे."

तिघेजण तिकडे गेले आणि त्यांना खरोखरीच गोड्या पाण्याचा बर्फ सापडला.

साधारण एक फूट व्यासाचा तुकडा काढण्यास डॉक्टरांनी सांगितले. स्वतःच्या कुऱ्हाडीने व चाकूने तोडून, कापून त्यास भिंगाचा आकार दिला. मग हाताने घासून एक चांगले पारदर्शक भिंग तयार केले. डॉक्टरांनी त्याचा वापर करून सूर्यकिरण गवतावर, वाळलेल्या पालापाचोळ्यावर केंद्रीभूत केले. काही वेळातच त्याने पेट घेतला.

ज्यूल वेर्नने यात अशक्य असे काहीच सांगितलेले नाही. बर्फाचा असा यशस्वी वापर १७६३ मध्ये इंग्लंडमध्ये करण्यात आला, आणि पुढे त्याचा असाच उपयोग अनेक वेळा केला गेला. कुऱ्हाड आणि चाकू वापरून तसेच हातांच्या सहाय्याने विस्तव पेटविणारे भिंग बर्फापासून तयार केले गेले व तेसुद्धा शून्याखाली ४८ अंश सें. सारख्या हवामानात. यावर विश्वास बसणे कठीणच आहे. तथापि, असे भिंग तयार करण्याचा सोपा मार्ग आहे. फुगीर



आ. ११४ बर्फाचे भिंग तयार करण्यासाठी
वाडगा उपयुक्त ठरतो.

भिंगाचा आकार असलेले एक भांडे घ्या व त्यात पाणी ओता. ते गोठल्यावर किंचितशी उष्णता देऊन तयार झालेले भिंग काढून घ्या. अग्नी पेटविण्यास मदत करणारे हे भिंग केवळ उघड्या हवेत, स्वच्छ सूर्यप्रकाशातच काम करील; बंद खोलीत उपयोगी पडणार नाही. बंद खिडक्यांच्या काचा सूर्याची बरीचशी उष्णता शोषून घेतात व उरलेली उष्णता या कामासाठी पुरेशी नसते.

मदत करणारा सूर्यप्रकाश

आणखी एक प्रयोग, विशेषतः हिवाळ्याचे दिवसात करता येईल. दोन सारख्याच आकाराचे, पण एक काळा व एक पांढरा असे दोन कापडाचे तुकडे घ्या. त्याखाली सूर्यप्रकाशात बर्फ झाकून ठेवा. तासाभराने निरीक्षण केल्यास असे आढळून येईल की, काळ्या कापडा खालचा बर्फ निम्मा-अधिक वितळला आहे पण पांढऱ्या कापडाखालचा बर्फ मात्र बहुतांश जसाच्या तसा आहे. काळ्या कापडाखालचा बर्फ लवकर वितळला याचे कारण असे की हा रंग त्यावर पडणारे बहुतांश सूर्यकिरण शोषून घेतो तर पांढरे कापड —पांढरा रंग—ते उत्सर्जित करतो व म्हणून त्याखाली ठेवलेला बर्फ कमी तापतो.

हा अतिशय बोधप्रद प्रयोग, अमेरिकेच्या स्वातंत्र्ययुद्धातील बेंजामिन फ्रँकलिन या वैज्ञानिकाने प्रथम केला. आकाशातील विजचे तारेद्वारे वहन करता येते हे सिद्ध करणाऱ्या प्रयोगामुळे तो अमर झाला आहे.

"शिप्याकडून मी कापडाचे अनेक रंगातील छोटेछोटे तुकडे आणले. त्यामध्ये काळे, गर्द निळे, फिके निळे, हिरवे, तांबडे, गुलाबी, पिवळे, पांढरे व इतर छटांतील तुकडे होते. ते सर्व मी स्वच्छ सूर्यप्रकाशात बर्फावर टाकले. काही तासातच (नक्की किती वेळ ते लक्षात नाही) काळा तुकडा सूर्यप्रकाशाने अतिशय तापल्यामुळे खाली गेला, गर्द निळाही जवळजवळ तेव-

ढाच खाली गेला, फिका निळा तुकडा गर्द निळ्यापेक्षा कमीच आणि इतर एकापेक्षा एक उजळ होत गेलेले रंगीत तुकडे कमी कमी खाली गेले. पांढरा तुकडा मात्र पृष्ठभागीच राहिला.

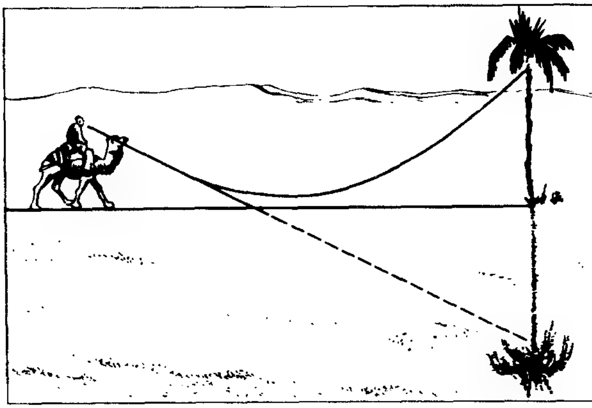
"यामुळे होणाऱ्या ज्ञानाचा जर काही उपयोग होत नसेल तर काय फायदा ? उन्हात काळे कपडे घालण्यास योग्य नाहीत हे आपण ध्यानात घेऊ नये काय ? काळ्या कपड्यांनी शरीर अधिकच तापते शिवाय कामात असताना होणाऱ्या हालचालीमुळे त्यात अधिकच भर पडते. ही दुप्पट उष्णता सहन करणे म्हणजे तापाला आमंत्रणच नव्हे काय ? ज्या उष्णतेने डोकेदुखी निर्माण होते व कधी कधी प्राणघातक उष्माघात होतो ती दूर राखण्यास स्त्रीपुरुषांच्या डोक्यावरील टोप्या पांढऱ्या रंगाच्या नकोत का ? फळांच्या काळपट रंगाच्या साली दिवसा भरपूर उष्णता मिळवितात., त्यामुळेच ती रात्री पुष्कळशी गरम राहून स्वतःचे हिमवृष्टीपासून रक्षण करतात आणि वाढीसही मदत होते. अशाच प्रकारच्या लहानमोठ्या उदाहरणांवरून यातील सार चिकित्सक बुद्धीच्या माणसाच्या ध्यानात येईल काय ?"

अशा ज्ञानापासून कसा फायदा करून घेता येतो याचे एक सुंदर उदाहरण पहावयास मिळते.

१९०३ मध्ये जर्मनीची "हॉस" नामक बोट दक्षिण ध्रुवाच्या मोहीमेवर गेली असता एकदा ती बर्फात रुतली. ती मोकळी करण्याकरता जर्मन लोकांनी स्फोटक द्रव्ये, बर्फ कापणाऱ्या करवती अशा नेहमीच्या मार्गाचा अवलंब केला खरा, पण ते सारे निष्फळ ठरले. अखेर सूर्यप्रकाशाची मदत घेण्याचे ठरविले. बोटीच्या नाळेपासून दोन कि. मी. लांबीचा व काही डझन मीटर रुंदीचा असा काळी राख व कोळसा यांचा थर बर्फावर पसरण्यात आला. अंटार्क्टिकातील ते दिवस उन्हाळ्याचे असल्यामुळे दिवसभर भरपूर सूर्यप्रकाश होता. त्याने स्फोटक द्रव्ये व करवती यांना न जमलेले काम मोठ्या सहजतेने करून दाखविले. बर्फ ठिकठिकाणी वितळला आणि त्यास तडे जाऊन अखेर बोट त्याच्या पकडीतून बाहेर पडली.

मृगजळ

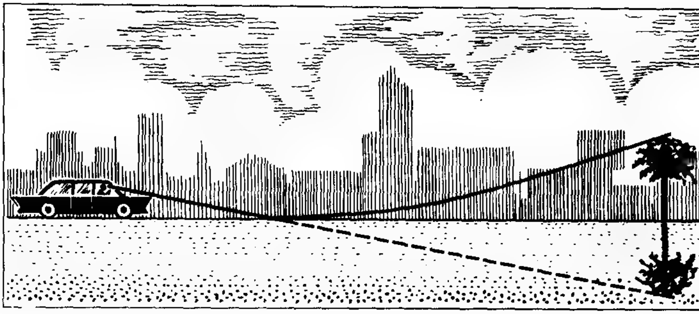
मृगजळ हा शब्द आपल्या कानावर अनेकदा आला असेल आणि त्यामागचे कारणही आपणास बहुदा ठाऊक असावे. तळपता सूर्य वाळू तापवितो आणि तीस आरशासारखा गुणधर्म देतो. या उष्ण पृष्ठभागावरील हवेची घनता, तीवरच्या हवेच्या घनतेपेक्षा कमी असल्यामुळे हे घडते. दूर अंतरावरील वस्तूंपासून निघणारे किरण, हवेच्या या खालच्या थरावर विशाल कोनात पडतात आणि जणू आरशाप्रमाणे परावर्तित होऊन जमिनीच्या



आ. ११५ वाळवंटातील आभासी दृश्याचा (मृगजळाचा) खुलासा. क्रमिक पुस्तकात सर्रास दिल्या जाणाऱ्या आकृतीत, किरणाचा जमिनीच्या दिशेने जाणारा मार्ग खूपच कलता दाखवितात.

वरच्या दिशेस वळतात. वाळवंटातील प्रवाशास भास होतो. की, आपण पाण्याचा पृष्ठभागच पाहत आहोत. व त्यामध्ये काठावरची झाडे, इत्यादी वस्तू प्रतिबिंबित झाल्या आहेत. (किंवा, जलपृष्ठाने परावर्तित केल्या आहेत) पाणबुडीतून पाहिले असता असेच म्हणावे लागेल की, हवेचा पृष्ठभागीय गरम थर आरशाप्रमाणेच परावर्तन न करता जलपृष्ठाप्रमाणेच परावर्तन करीत आहे. हे नेहमीचे अनुभवले जाणारे परावर्तन नसून, भौतिकशास्त्रज्ञ म्हणतात त्याप्रमाणे "पूर्ण परावर्तन" असते. प्रकाश जेव्हा पृष्ठभागाशी अतिविशाल कोन करतो (आपाती कोन जेव्हा अतिविशाल असतो) तेव्हा पूर्ण परावर्तन घडून येते. आ. ११५ मध्ये दाखविलेल्या कोनापेक्षा तो कितीतरी अधिक रुंद असतो. तसे झाले नाही तर आपाती क्रांतिक कोन (सीमा-कोन) उल्लंघिला जाणार नाही.

चुकीचा समज होऊ नये म्हणून एक वस्तुस्थिती लक्षात घ्या की, घन हवेचा थर नेहमी विरल थराच्या वर हवा. तथापि, आपणास ठाऊक आहे की, घन हवा ही जड असते आणि ती नेहमीच खाली जाण्याचा प्रयत्नात असते. तसे करताना हलक्या थराची जागा घेऊन त्यांस वरच्या दिशेने ढकलते. तर मग मृगजळाच्या बाबतीत जड हवा, हलक्या हवेच्या वर का



आ. ११६ फरशी बसविलेल्या मार्गावरील
आभासी दृष्य.

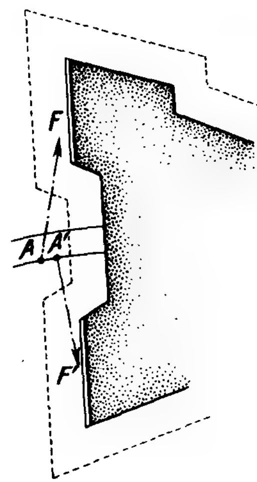
असावी ? हवा सतत गतीमान असते हे याचे कारण होय. नव्याने जागा घेणारी व भरपूर प्रमाणातील तप्त हवा, तापलेल्या पृष्ठभागीय हवेस सतत वर ढकलते. तथापि, थोडीफार विरल हवा गरम वाळूवर नेहमीच राहते आणि जी असते ती असलीच पाहिजे असेही नाही. प्रकाशकिरणांच्या दृष्टीने कोणताच फरक पडत नाही.

मृगजळाचा हा आविष्कार अतिप्राचीन कालापासून माहीत आहे. (वरच्या बाजूस जे विरल थर असतात त्यामुळे परावर्तन होऊन थोड्या वेगळ्या प्रकारचा दृष्टिभ्रम पहावयास मिळतो.) अशी समजूत आहे की, मृगजळाचे फार वेधक आविष्कार फक्त दक्षिणेकडील रणरणत्या वालुकामय प्रदेशातच पहावयास मिळतात, ते अगदी उत्तरेकडील अक्षांशावर कधीच पहावयास मिळत नाहीत. ही चुकीची समजूत आहे. उन्हाळ्यात डांबरी रस्त्यावरसुद्धा असे आविष्कार पहावयास मिळतात. ते काळ्या रंगाचे असल्यामुळे सूर्याच्या उष्णतेने चांगलेच तापतात आणि अशा रस्त्याचा निस्तेज पृष्ठभाग पाण्याच्या तळ्याप्रमाणे भासून दूरवरच्या वस्तू प्रतिबिंबित केल्या जातात. बारकाईने पाहणाऱ्या व्यक्तीस असे मृगजळ अधूनमधून दिसणे वाटते तेवढे अशक्य नाही.

मृगजळाचा आणखी एक आविष्कार निसर्गात आढळतो. पण लोकांना त्याची पुसटशीसुद्धा कल्पना नसते. एका बाजूने किंवा कडेने दिसणारे मृग-जळ असे त्याचे स्वरूप आहे. एका फरेंच गृहस्थाने विशद केलेला हा प्रकार. तापलेल्या व बाजू वळलेल्या भिंतींमुळे जे परावर्तन होते त्यामुळे पहावयास मिळते. हा फरेंच गृहस्थ एका गढीच्या भिंतीच्या जेव्हा जवळ आला, तेव्हा

ती भिंत पॉलिश केलेल्या आरशाप्रमाणे चमकत असून त्यात सभोवतालच्या दृश्याचे प्रतिबिंब पडले आहे असे त्यास पहावयास मिळाले. काही पावले पुढे गेल्यावर तसाच प्रकार दुसऱ्या एका भिंतीबाबत पहावयास मिळाला. यावरून त्याने निष्कर्ष काढला की, तळपत्या सूर्याच्या उष्णतेमुळे भिंती चांगल्याच गरम होतात व त्यामुळे हा प्रकार पहावयास मिळतो. आ. ११७ मध्ये भिंतीची जागा (F व F') दाखविलेली असून निरीक्षक कोठे उभा होता ते बिंदूही (A व A') दाखविलेले आहेत.

या फ्रेंच गृहस्थास असेही आढळले की, भिंत पुरेशी तापली असता दरवेळेस हा प्रकार पहावयास मिळतो आणि त्याने आविष्काराची छाया-चित्रेही घेतली.



आ. ११७

आभासी दृष्य दिसलेल्या गढीचा आराखडा. A बिंदूपासून F ही भिंत पॉलिश केल्याप्रमाणे दिसते, तर A' बिंदूपासून F ही भिंत तशी भासते.

आ. ११८ मध्ये डावीकडच्या चित्रात एका गढीची भिंत दिसत असून उजवीकडील चित्रात ती एकाएकी चकाकणाऱ्या आरशात रूपांतरित झाल्याचे आढळते. साधीसुधी, राखी रंगाची कॉन्क्रीटची भिंत शेजारीच उभ्या असणाऱ्या दोन सैनिकांचे प्रतिबिंब दाखविणार नाही पण त्याच भिंतीचे अद्भुतरीत्या एकाएकी आरशात रूपांतर होऊन ती नजिकच्या सैनिकांचे समांतर प्रतिबिंब दाखवू लागते. हे तर खरेच की, खुद्द भिंत ते दृश्य परावर्तित करीत नसून नजिकचा पृष्ठभागीय उष्ण हवेचा थर ते काम करतो. उन्हा-



अ. ११८ खरखरित व राखी रंगातील भिंत
(डावीकडील) एकाएकी स्वच्छ
आरसाच ठरते.

ळयात मोठमोठ्या इमारतींच्या भिंती डोळसपणे न्याहाळल्यास आपणालासुद्धा अशा प्रकारचा आविष्कार पहावयास मिळेल.

"हिरवा किरण"

"समुद्रकिनाऱ्यावरून सूर्य क्षितिजाखाली जाताना आपण कधी पाहिला आहे काय? नक्कीच पाहिला असणार. त्याची वरची कड क्षितिजाला टेकताना व नंतर ती नाहीशी होईपर्यंतचे दृश्य कधी पाहिले आहे का? बहुदा पाहिले असावे. पण हा तेजोगोल आपला अखेरचा किरण फेकीत असताक्षणी काय घडते (मात्र त्यावेळी आकाश अगदी निरभ्र आणि पारदर्शक निळे हवे) हे कधी पाहिले आहे काय? बहुतेक नसावे. तर अशी संधी आल्यास मुळीच दवडू नका. यावेळी तांबड्या रंगाऐवजी अतिशय मोहक असा हिरव्या रंगाचा किरण पहावयास मिळेल; एवढा अत्युत्तम की कोणत्याच चित्रकाराने रंगविला नसेल. असा हिरवा रंग निसर्गातील असंख्य हरितरंगी वनस्पतींमध्येही पहावयास मिळणार नाही किंवा अत्यंत पारदर्शक अशा सागरजलासही मिळालेला नसेल."

एका इंग्रजी वृत्तपत्रात प्रसिद्ध झालेल्या वृत्तामुळे ज्यूल वेर्नच्या "**हिरवा किरण**" या कादंबरीच्या नायिकेत एवढे कुतूहल निर्माण झाले की स्वतःच्या डोळ्यांनी हा आविष्कार पाहता यावा या एकाच इच्छेने जगभर भटकली. मात्र, ज्यूल वेर्नच्या निवेदनानुसार या स्कॉटलंडनिवासी मुलीस निसर्गाची

ही मनोवेधक कलाकृती जरी पहावयास मिळाली नाही तरी हिरव्या किरण ही वस्तुस्थिती आहे. तसेच हा आविष्कार म्हणजे एक कल्पितकथा किंवा पुराणकथा असे मात्र मुळीच नाही. तो पाहण्यासाठी जरूर ते श्रम घेतले तर कोणीही निसर्गप्रेमी व्यक्ती, "केवळ अप्रतिम" म्हणून म्हणून उद्‌गार काढेल.

हा हिरवा किरण येतो तरी कोठून ? एखाद्या लोलकामधून जेव्हा आपण पाहतो तेव्हा काय दिसते याचे थोडेसे स्मरण करूया. यासाठी पुढील-प्रमाणे प्रयोग करून पहा. डोळ्याशी लोलक असा धरा की, त्याची रुंद बाजू खाली वळलेली असेल. मग भिंतीवर लावलेल्या पांढऱ्या कागदाकडे पहा. प्रथम कागद मोठा व अस्पष्ट दिसेल. आणि नंतर वरची कड जांभळ्या-निळ्या रंगात व खालची पिवळ्या-तांबड्या रंगात दिसेल. कागद मोठा व अस्पष्ठ दिसतो तो वक्रीभवनामुळे आणि वेगवेगळ्या रंगाचे प्रकाश वेगवेगळ्या प्रकारे वक्रीभूत करण्याचा काचेचा जो गुणधर्म आहे त्यामुळे कडा रंगीत दिसतात. काच, इतर कोणत्याही रंगापेक्षा जांभळे व निळे रंग अत्यधिक प्रमाणात वाळविते. म्हणूनच आपणास जांभळी-निळी कड वरच्या बाजूस दिसते. याचवेळी तांबडे किरण कमीत कमी वक्रीभूत केले जात असल्यामुळे खालची कड याच रंगात दिसते.

माझे पुढील विवेचन अधिक चांगल्या प्रकारे आपल्या लक्षात यावे यासाठी या रंगीत कडांचे मूळ कशात आहे याचे थोडे सविस्तर विवरण करणे जरूर आहे. कागदापासून निघणाऱ्या पांढऱ्या प्रकाशाचे लोलकामार्फत वर्णपटाच्या सर्व रंगात विभाजन होते आणि कागदाची अनेकरंगी रूपे पहा-वयास मिळतात. ती वक्रीभवनाच्या क्रमानुसारच असतात व कित्येकदा एका-वर एक याप्रमाणे अध्यारोप झालेली असतात. एकावर एक असणाऱ्या या मान्था रंगीत प्रतिमांचा एकत्रित परिणाम पांढरा प्रकाश निर्मिण्याकडे (वर्ण-पटीय रंगाची रचना) होतो पण त्याच्या वरच्या व खालच्या बाजूस रंगीत धारा अथवा कडा असतात. सुप्रसिद्ध जर्मन कवी ग्योटे याने हा प्रयोग करून पाहिला खरा पण त्यातील मर्म त्यास जाणता आले नाही. यामुळे आपण न्यूटनची रंगविषयक विचारप्रणाली खोटी ठरविली असा त्याचा समज झाला. पुढे त्याने स्वतःची "**रंगविषयक विचारप्रणाली**" प्रसिद्ध केली. पण अशा प्रकारे ती पूर्णपणे धादांत असत्यावर आधारलेली होती. मला वाटते, आपली अशी दिशाभूल होणार नाही आणि लोलकाच्या सहाय्याने सारे काही नव्या रंगरूपात आपण पाहू शकाल.

आपल्या दृष्टीने पृथ्वीचे वातावरण हा एक विशाल लोलकच असून त्याचा पाया आपल्या बाजूस वळलेला आहे. सूर्याकडे, तो क्षितिजावर अस-

ताना या वायुरूप लोलकातून आपण पाहतो. सूर्याच्या वर्तुळाकृतीच्या वरच्या बाजूस निळी-हिरवी धारा वा कड असते तर खालच्या बाजूस पिवळी-तांबडी धारा असते. सूर्य जेव्हा क्षितिजावर असतो तेव्हा त्याचा झगमगता प्रकाश इतर साऱ्या फिक्या रंगाच्या पट्ट्यांना निस्तेज करून टाकतो व म्हणून ते आपणास अजिबात दिसत नाहीत. तथापि, सूर्योदयाच्या व सूर्यास्ताच्या वेळी सूर्याचा वर्तुळाकार क्षितिजाखाली असतो व त्यावेळी अगदी वरच्या बाजूवर निळसर रंगातील व तिच्याखाली फिकट निळचा रंगाची—हिरव्या व निळ्या रंगाच्या मिश्रणातून तयार झालेली——अशी दुरंगी धारा पहावयास मिळेल. क्षितिजाजवळची हवा जर स्वच्छ आणि अर्धपारदर्शक असेल तर आपणास निळी कड अथवा "निळा किरण" पहावयास मिळेल. पण पुष्कळदा वातावरणामुळे निळे रंग विखुरले जातात व त्यामुळे केवळ कड ऊर्फ "हिरवा किरण" पहावयास मिळतो. तथापि, गढूळ, अस्वच्छ वातावरणामुळे अनेकदा हे दोन्हीही रंग विखुरले जातात आणि मग वरची बाजू कोणत्याच रंगात आढळत नाही; अस्तास जाणाऱ्या सूर्यास किरमिजी तांबडा रंग प्राप्त होतो.

सोविएत खगोलशास्त्रज्ञ जी. ए. चेकॉव्ह यांनी "हिरव्या किरणां"वर एक स्वतंत्र प्रबंध लिहिला असून त्यात हा आविष्कार पाहण्याच्या दृष्टीने काही उपयुक्त सूचना केलेल्या आहेत.

"जेव्हा अस्तास जाणाऱ्या सूर्यास किरमिजी लाल छटा प्राप्त झाली असेल आणि त्याजकडे उघड्या डोळ्यांनी पाहण्यात काही धोका नसेल तेव्हा हिरवा प्रकाश दिसणार नाही असे खुशाल समजावे." हे पुरेसे सूचक आहे. सूर्य तांबड्या रंगाचा दिसणे ही वस्तुस्थिती हेच सांगते की, निळे आणि हिरवे रंग वातावरणाने पूर्णतया विखरून टाकलेले आहेत. अथवा, दुसऱ्या शब्दात असे सांगता येईल की, सूर्याच्या वर्तुळाकाराची संपूर्ण वरची बाजूच विखुरली गेली आहे. चेकॉव्ह पुढे म्हणतात "तथापि, अस्तास जाणारा सूर्य जेव्हा आपला नेहमीचा पांढरट-पिवळा रंग बदलत नाही आणि तो चांगला तेजस्वी दिसतो म्हणजेच प्रकाशाचे वातावरणामार्फत होणारे शोषण अगदीच नगण्य असते—**या पेरेलमन)** अशा वेळी "हिरवा किरण" पाहण्याची संधी बहुदा मिळणार असे समजण्यास हरकत नाही. मात्र आपणापासून क्षितिज सरळ रेषेत दूर तर असावयास हवेच शिवाय मध्ये उंचसखलता तसेच इमारती व झाडांची दाटीही असता कामा नये. समुद्रकिनारी या साऱ्या अपेक्षा पुऱ्या होतात. हिरव्या प्रकाशाशी खलाशी अधिक परिचित का याचे कारण यामुळे उघड होते."

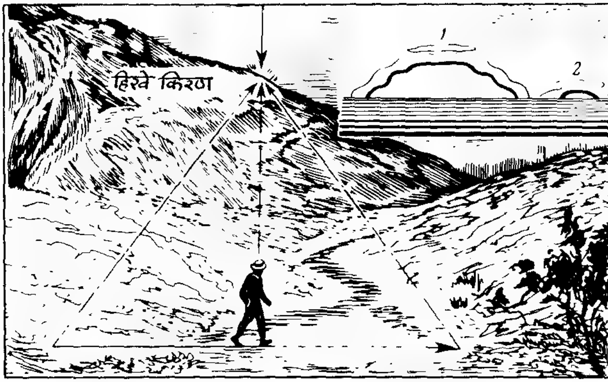
सारांश, : हिरवा किरण पाहण्यासाठी आपणाला उगवणाऱ्या किंवा

अस्तास जाणाऱ्या सूर्याचेच निरीक्षण करावयास हवे व त्यावेळी आकाश अगदी स्वच्छ, नितळ असले पाहिजे. दक्षिणेकडील हवामानात क्षितिजानजिकचे आकाश, हे उत्तरेकडच्या आकाशापेक्षा अधिक अर्धपारदर्शक असल्यामुळे दक्षिण भागात एखाद्यास अधिक वेळा "हिरवा किरण" पहावयास मिळणे शक्य आहे. पण मध्य अक्षांशाच्या भागात हा आविष्कार वाटतो तेवढा काही दुर्मिळ नाही. मला वाटते, ही समजूत ज्यूल वेर्नमुळे झाली असावी. दीर्घकाळ आणि सूक्ष्मपणे निरीक्षण चालू ठेवल्यास आज ना उद्या हिरवा किरण पाहण्याची संधी आपणास नक्कीच प्राप्त होईल. अगदी छोटया दुर्बिणीतूनसुद्धा हा आविष्कार पहावयास मिळाला आहे.

दोन अल्जेरियन खगोलशास्त्रज्ञांनी या आविष्काराचे वर्णन असे केले आहे :

"सूर्य अस्तास जाण्याच्या अगदी अखेरच्या क्षणी व जेव्हा त्याचा वर्तुळाकार अद्यापी दिसत असतो तेव्हा हिरव्या रंगातील धारेने त्याच्या थरथरत्या पण कोरीव बाह्यरेषेभोवती जणू मिठी मारली आहे असा भास होतो. सूर्य जेव्हा पूर्णपणे क्षितिजाखाली नाहीसा होईल तेव्हाच हे दृश्य दिसेल, तोपर्यंत केवळ उघडया डोळ्यांना ते दिसणे अशक्यच. पण जर एखाद्याने छोटी दुर्बिण वापरली—सुमारे १०० वर्धनक्षमता असणारी— तर मात्र हा सारा आविष्कार अतिशय उत्तम प्रकारे पाहता येईल. ही हिरवी कड, सूर्य नेमका अस्तास जाण्याच्यापूर्वी सुमारे दहाएक मिनिटे तरी पहावयास मिळेल. सूर्याच्या वरच्या भागी तिचा (हिरव्या धारेचा) विळखा पडलेला असतो तर खालच्या अर्ध्या भागास तांबडया धारेने वेढलेले असते. सुरुवातीला तिची रुंदी अगदीच अल्पशी असते, फार तर काही मिनिटांच्या कंसाएवढी. जेव्हा सूर्य अस्तास जाऊ लागतो तेव्हा ती रुंदावत जाते व अर्ध्या मिनिट कंसाएवढी रुंद होणे शक्य असते. या हिरव्या कडेच्या वरच्या बाजूस एखादे हिरवे तेजःश्रृन्गही कधी ना कधी पहावयास मिळते. जसजसा सूर्य खाली जाऊ लागतो तसतसे हे तेजःश्रृन्गही कडेकडेने घरंगळत शिरोबिंदूकडे जात आहे असे भासू लागते आणि प्रसंगी ते पूर्णतया वेगळे होऊन नाहीसे होण्यापूर्वी काही सेकंद स्वतंत्रपणे चमकत राहते (आ. ११९).

हिरव्या किरणाचा हा आविष्कार बहुदा काही सेकंदच टिकतो. तथापि, अतिशय अनुकूल परिस्थितीत तो अधिक काळ टिकणे अगदी शक्य असते. हा आविष्कार ५ मिनिटे टिकल्याची नोंद आहे. त्यावेळी सूर्य एका दूरवरच्या पर्वतामागे अस्तास जात होता आणि भराभर चालणाऱ्या व्यक्तीला जणू तो पर्वताच्या उतारावरून घरंगळत असल्याचे पहावयास मिळाले (आ. ११९).



आ. ११९ 'हिरव्या किरणाचे' अधिक काळ लांबविलेले निरिक्षण. हे दृष्य पर्वतराजीमागे ५ मिनिटे पहावयास मिळाले. उजवीकडील वरचा कोपरा: छोट्या दुर्बिणीतून दिसणारे 'हिरव्या किरणाचे' दृष्य. सूर्याची चकती खडबडीत दिसत आहे.

१.— सूर्याच्या दिपविणाऱ्या प्रभेमुळे डोळ्यांन हरित वलय दिसत नाही.

२.— जेव्हा सूर्य जवळजवळ अस्तास गेल्या सारखाच दिसतो तेव्हा केवळ डोळ्यांना 'हिरवा किरण' दिसणे अगदी शक्य असते.

सूर्योदयाचे वेळी म्हणजे सूर्याच्या वर्तुळाकाराची वरची बाजू जेव्हा क्षितिजावरून डोकावू लागते तेव्हा पाहण्यात आलेले व नोंदले गेलेले हिरव्या किरणांचे आविष्कार मोठे बोधप्रद म्हटले पाहिजेत. अनेकजण हा आविष्कार म्हणजे केवळ भ्रम आहे व अस्तास जाणाऱ्या सूर्यकिडे सतत पाहून डोळयांना जो शीण येतो त्यामुळे तो निर्माण होतो अशी मीमांसा वेळोवेळी पुढे करतात. वरील नोंदी हे कारण धादांत खोटे आहे याचा पुरावाच ठरतात. तसे पाहिले तर हिरवे किरण फेकणारी सूर्य ही काही एकुलती एक आकाशस्थ ज्योती नव्हे, तर मावळणारा शुक्र ग्रहदेखील हिरव्या किरणांचा आविष्कार दर्शवितो.

दृष्टी

छायाचित्रणकलेचा शोध लागण्यापूर्वी–

छायाचित्रण कला आज एवढी सर्वसामान्य झाली आहे की, आपल्या वाडवडिलांचे गेल्या शतकापर्यंत त्याचेवाचून कसे काय चालत होते याची कल्पनाच करवत नाही. आपल्या **"पोस्थ्युमस पेपर्स ऑफ द पिक्विक क्लब"** या पुस्तकात चार्लस डिकन्सने शंभरएक वर्षांपूर्वीचे इंग्रज तुरुंगाधिकारी एखाद्या व्यक्तीची चेहेरेपट्टी व अंगवैशिष्ट्ये कशाप्रकारे उतरवून घेत याचे मोठे गमतीदार वर्णन केले आहे. हे काम ज्या तुरुंगात केले जाणार होते तेथे पिक्विक यास आणले गेले. व्यक्तिचित्र घेण्यासाठी काही वेळ बसावे लागेल असे त्याला सांगण्यात आले.

"माझ्या व्यक्तिचित्रासाठी मी बसू म्हणता!" पिक्विक उद्गारला.

"साहेब, तुमची चेहेरेपट्टी, खाणाखुणा इत्यादींचे निरीक्षण केले जाणार आहे," एक उंचापुरा तुरुंगाधिकारी म्हणाला.

"आम्ही ते काम करणारी सरकारी माणसे असून ते अगदी अचूक व झटपट करतो. साहेब, आत चलावे आणि निःसंकोचपणे बसावे."

त्यांच्या म्हणण्याप्रमाणे पिक्विक एका खुर्चीवर बसतो. त्याच्या खुर्ची-मागे वेलर उभे होते. भेट देणारे कोण, गुन्हेगार कोण हे समजावे म्हणून आमचे निरनिराळे अधिकारी हा सारा खटाटोप करत आहेत असे ते हळूच पुटपुटले.

"तर मग, सॅम," पिक्विक म्हणाला, "त्यांसाठी चित्रकार येईल, नाही? ही जरा सार्वजनिकच जागा आहे,."

"ते येतील का नाही याची मला शंकाच वाटते." सॅमने उत्तर दिले. "ते पहा, तेथे एक उंच घड्याळ दिसत आहे."

"हां, दिसते खरे." पिक्विक तिकडे पाहून उद्गारला.

हे काहीसे तात्त्विक उद्गार वेलरनी काढताच पिक्विक उमगला की, आपले निरीक्षण सुरू झाले आहे. त्या धिप्पाड तुरुंगाधिकाऱ्याने वरवर निष्काळजीपणे पण वेळोवेळी पिक्विककडे पाहण्यास सुरुवात केली. एका उंच, काटकुळया गृहस्थाने त्याच्याकडे दीर्घकाळ पाहून घेतले. तिसऱ्या एकाने पिक्विकच्या अगदी जवळ बसून त्यास आपादमस्तक न्याहाळले. त्याच्या-

बरोबर असणाऱ्या दोघातिघांनी पिक्विकच्या खाणाखुणा मोठ्या विचारपूर्वक आणि बारकाईने बघितल्या. ते सारे पाहून पिक्विकने दचकून अंग चोरण्यास सुरुवात केली आणि खुर्चीतल्या खुर्चीत तो फारच अस्वस्थ झाला; पण त्याबद्दल तो काहीच बोलला नाही, अगदी सॅमलासुद्धा.

अखेर सारे निरीक्षण पूर्ण झाल्याचे पिक्विकला सांगण्यात आले. आता तुरुंगात जाण्याची त्यास परवानगी देण्यात आली.

याही पूर्वी, "व्यक्तिचित्रे" ध्यानात ठेवण्यासाठी निरनिराळ्या खाणाखुणा वा वैशिष्ट्यांची एक लांबलचक यादीच केली जात असे. रशिअन झारच्या आज्ञापत्रात, ग्रिगोरी ऑट्रेपयेव्ह याचे कसे वर्णन करण्यात आले आहे ते आपल्या **"बॉरिस गदूनोव"** या कथेत पुष्किन पुढीलप्रमाणे सांगतो: "लहानशा उंचीचा, रुंद छातीचा, एक हात दुसऱ्यापेक्षा लहान; डोळ्यांचा रंग निळा व केसांचा भुरकट, एका गालावर चामखिळ तर दुसरी कपाळावर." आज आपणास या वर्णनाची मुळीसुद्धा जरूरी नाही, त्याऐवजी छायाचित्रच घेतले जाते.

अनेकांना माहीत नसते ते.

रशियात १८४० मध्ये छायाचित्रणकलेने प्रवेश केला. डगुरे यांनी तिचा शोध लावल्यामुळे "डगुरिओ टाईप" या नावानेच हा प्रवेश झाला. हा प्रकार फारच त्रासदायक होता. त्यासाठी एखाद्यास खूप वेळ बसावे लागत असे. वीसएक मिनिटे किंवा त्यापेक्षाही जास्त. लेनिनग्रादच्या प्रा. बी. पी. वेनबर्ग यांनी मला एकदा सांगितले, "एक छायाचित्र ऊर्फ डगुरीओटाईप घेण्यासाठी माझ्या आजोबांना ४० मिनिटे कॅमेऱ्यासमोर बसावे लागले. शिवाय, त्यापासून जादा छायाचित्रेही बनविता येत नसत."

तथापि, चित्रकाराच्या कुंचल्याशिवाय आपले व्यक्तिचित्र तयार करण्याची यामुळे संधी मिळत आहे ही कल्पनाच अनेकांना फार वैचित्र्यपूर्ण वाटली आणि सर्वसामान्य जनतेच्या ती पचनी पडण्यास बराच काळ जावा लागला. १८४५ सालच्या एका रशिअन मासिकात याबाबत एक अतिशय मनोरंजक कथा सांगण्यात आली असून ती पुढीलप्रमाणे आहे :

"डगुरिओटाईपचे काम आपोआप केले जाते यावर अद्यापीही अनेकजणांचा विश्वासच बसत नाही. असेच एक सद्गृहस्थ आपले व्यक्तिचित्र काढण्यास आले. मालकाने म्हणजेच छायाचित्रकाराने त्यांना बसण्याची विनंती केली, भिंगाची योग्य हालचाल केली, कॅमेरात प्लेट (काच) घातली आणि घड्याळात पाहून वेळेची नोंद केली त्यानंतर तो बाहेर गेला. जोपर्यंत मालक उपस्थित होता तोपर्यंत सदरहू सद्गृहस्थ जागच्या जागी, खिळवून

ठोकळ्याप्रमाणे स्तब्ध बसले होते, पण मालक बाहेर जातात न जाताच तोच, आता काही एकाच जागी बसण्याची गरज नाही, अशा विचाराने ते उठले. नाकात तपकिरीची चिमूट कोंबली आणि सर्व बाजूंनी तो कॅमेरा न्याहाळला. भिंगास डोळा लावून आत काही दिसते का ते पाहिले पण काहीच न दिसल्यामुळे मान हालविली आणि "फारच डोकेबाज शोध आहे बुवा!" असे पुटपुटत खोलीत येरझारा घालण्यास सुरुवात केली

थोड्याच वेळात मालक परतला पण चकित होऊन तो दारातच थबकला. वैतागाने तो उद्गारला, "हे काय चालविले आहे ? तुम्हाला मी अजिबात न हालता बसावयास सांगितले होते ना "

"हो तर त्याप्रमाणे मी बसलोच होतो तुम्ही गेल्यावरच तर मी उठलो"

"पण मी बाहेर गेल्यावरसुद्धा तुम्ही हालचाल न करता बसावयास हवे होते."

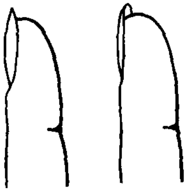
"तसे रिकामटेकडेपणे मी का म्हणून बसावे ?" सद्गृहस्थांनी घुश्शातच विचारले.

त्या सद्गृहस्थांएवढे शीघ्रकोपी असण्याची आज आपणास मुळीच जरुरी नाही.

तरीसुद्धा, आजच्या छायाचित्रणकलेबाबतच्या काही गोष्टी अनेकांना ठाऊक नाहीत. उदाहरणार्थ, छायाचित्राकडे कसे पहावे याची फारच थोड्यांना माहिती असते. छायाचित्रणकला अस्तित्वात येऊन शे–दीडशे वर्षे झाली असली आणि ती अगदी परिचित असली, तरी एखाद्यास वाटते तेवढी ती साधीसोपी मुळीच नाही. एवढे कशाला, व्यावसायिकसुद्धा छायाचित्राकडे **अगदी योग्य प्रकारे** पाहत नाहीत.

छायाचित्र कसे पहावे ?

ज्या प्रकाशीय तत्त्वावर आपला डोळा आधारलेला आहे त्याच तत्त्वावर कॅमेरा ऊर्फ छायाचित्रक आधारलेला आहे. त्याच्या घर्षित काचेवर जे काही प्रक्षेपित होते (दिसते) ते भिंग आणि वस्तू यातील अंतरावर अवलंबून असते. कॅमेरा आपणास त्रिमिती-दृश्य दाखवितो. भिंगाच्याऐवजी डोळ्याने तसे दिसण्यास **एकच डोळा** पुरे असतो हे लक्षात घ्या. तर मग, छायाचित्रात चित्रित केलेल्या वस्तूचे जे त्रिमिती-दृश्य दाखविलेले असते तसेच हुबेहूब दृश्य डोळ्यामार्फत दिसण्यास छायाचित्राकडे आपण फक्त **एकाच डोळ्याने** पाहिले पाहिजे आणि तेदेखील **योग्य अशा अंतरावरून.**



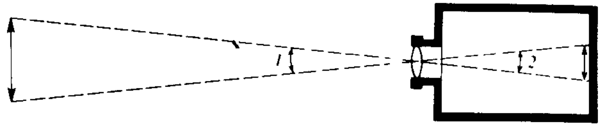
आ. १२० चेहऱ्यानजिक धरलेले बोट उजव्या व डाव्या डोळ्यांनी स्वतंत्रपणे पाहिले असता याप्रमाणे दिसेल.

जेव्हा आपण छायाचित्राकडे **दोन्ही डोळ्यांनी** पाहतो तेव्हा जे दृश्य दिसते ते सपाट स्वरूपाचे असून त्रिमितीमध्ये नसते. हा आपल्या दृष्टीचाच दोष आहे. जेव्हा आपण एखाद्या घन वस्तूकडे पाहतो तेव्हा कोणत्याही डोळ्यातील दृक्‌पटलावर एकसारखीच प्रतिमा उमटत नाही (आ. १२०). आपण वस्तू उठावदारपणे पाहतो याचे हे मुख्य कारण आहे. आपल्या मेंदू-मार्फत या दोन भिन्न प्रतिमांचे मिश्रण होऊन त्यातून **उठावदार** प्रतिमा निर्माण होते. यथार्थदर्शकाचे हेच मूलभूत तत्त्व आहे. याउलट आपण जर एखाद्या सपाट दृश्याकडे—उदा. भिंत—पाहत असू तर डोळ्यांमध्ये समान अशी संवेदन-प्रतिमा उमटते आणि मेंदूला जाणीव दिली जाते की, पाहत असलेली वस्तू किंवा दृश्य खरोखरीच सपाट आहे.

तेव्हा छायाचित्राकडे दोन्ही डोळ्यांनी पाहण्यात आपण काय चूक करतो तो जाणून घेतले पाहिजे. म्हणजे आपण स्वतःला असे समजण्यास भाग पाडतो की, आपणापुढे जे चित्र आहे ते सपाट आहे. जे छायाचित्र वास्तविक **एकाच डोळ्याने** पहावयासाठी असते ते **दोन डोळ्यांनी** पाहून, ते जे काही खरोखरीच दाखविणार असेल ते पाहण्यास प्रतिबंध करतो. तसेच, कॅमेऱ्यामार्फत अत्यंत परिपूर्णतेने टिपलेली प्रतिमा बिघडवून टाकतो.

छायाचित्र किती अंतरावरून पहावे?

छायाचित्र डोळ्यापासून **योग्य अंतरावर धरावे** हा जो मी दुसरा नियम सांगितला. तोसुद्धा तितकाच महत्त्वाचा आहे; अन्यथा आपणास चुकीचे त्रिमिती दर्शन होईल. ज्या वस्तूचे छायाचित्र घेताना कॅमेऱ्याने त्याजकडे जसे "पाहिले" असेल त्याचप्रकारे छायाचित्राकडे पहावयास हवे. योग्यप्रकारे दृश्याची पुनर्निर्मिती करण्यास, ज्या कोनातून कॅमेऱ्याच्या भिंगाने घर्षण काचेवर प्रतिमा दर्शविली त्याच कोनातून छायाचित्राकडे आपण नजर लावली पाहिजे. म्हणजेच, छायाचित्रातील प्रतिमेच्या व प्रत्यक्ष वस्तूच्या आकारातील फरक हा वस्तू व भिंग यातील अंतरापेक्षा जितक्या पटीने कमी आहे तेवढ्याच पट कमी अंतरावर छायाचित्र डोळ्यापासून धरले पाहिजे. दुसऱ्या



आ. १२१ कॅमेऱ्याचे बाबतीत कोन १ हा कोन २
बरोबर असतो.

शद्दात असे सांगता येईल की कॅमेऱ्याच्या भिंगाचे जेवढे केन्द्रांतर असते तेवढ्या अंतरावर साधारणतः छायाचित्र धरले पाहिजे.

तथापि बहुसंख्य कॅमेऱ्यांचा भिंगे १२–१५ सें. मी. केन्द्रांतरांची असल्या-ल्यामुळे (लेखकाने हे पुस्तक ज्यावेळी लिहिले त्यावेळी प्रचारात असलेले कॅमेरेच त्याच्या मनात होते–संपादक) त्यानी घेतलेली छायाचित्रे आपणास योग्य अंतरावर कधीच धरता येणार नाहीत. कारण सर्वसाधारण डोळ्याचे केन्द्रांतर २५ सें. मी. म्हणजे कॅमेऱ्याच्या भिंगाच्या केन्द्रांतरापेक्षा जवळजवळ दुप्पट असते. भिंतीवर लटकविलेले छायाचित्रसुद्धा सपाट दिसणार. कारण ते आणखीनच दुरून पाहिले जाते. केवळ ऱ्हस्व दृष्टीच्या माणसास त्याच्या दृष्टीच्या लघुकेन्द्रांतरामुळे आणि अगदी जवळच्या वस्तू पाहण्यासाठी दृष्टीत दृश्य सामावून घेण्याची क्षमता असणाऱ्या लहान मुलांनाच एका डोळ्यामुळे छायाचित्र पाहण्यातील मौज जाणवेल. हे लोक जेव्हा १२–१५ सें मी. अंतरावरून छायाचित्र पाहतात तेव्हा त्यांना दृश्य सपाट न दिसता उठावदार स्वरूपात दिसते. यथार्थदर्शक अशाच स्वरूपाचे दृश्य दाखवितो.

छायाचित्रापासून जो आनंद मिळवावयाचा असतो तो केवळ आपल्या निष्काळजीपणामुळे मिळविता येत नाही आणि आपण ते निर्जीव असल्याचा निष्कारण आरोप करतो. मला वाटते की वरील विवेचनामुळे आपण माझ्याशी जरूर सहमत व्हाल.

बृहद्दर्शक भिंगाचा विलक्षण परिणाम

ऱ्हस्व दृष्टीच्या व्यक्ती सर्वसाधारण छायाचित्रे उठावदार स्वरूपात सहजगत्या पाहू शकतात. तर मग सामान्य दृष्टीच्या लोकांनी काय करावे? या बाबतीत बृहद्दर्शक भिंग उपयोगी पडेल. त्यांनी एका द्विवर्धी भिंगाच्या सहाय्याने छायाचित्र पाहिल्यास ऱ्हस्व दृष्टीच्या माणसास जो फायदा आपोआप मिळतो तो मिळून डोळ्याना ताण न देता छायाचित्रे उठावदार स्वरू-

पात पाहता येतील.

अशा प्रकारे पाहण्याचा परिणाम आणि दोन्ही डोळयांनी दूर अंतरावरचे छायाचित्र पाहण्याचा परिणाम या दोहोत अतिशय फरक असतो. पहिल्या प्रकारात अगदी यथार्थदर्शी दृश्याची अनुभूती होते. आता आपल्या लक्षात आलेच असेल की एका डोळयाने बृहद्‌दर्शक भिंगातून पाहिलेले छायाचित्र एकदम उठावदार दृश्यात का रूपांतरित होते. ही सामान्यतः ठाऊक असलेली वस्तुस्थिती खरी पण तिचे स्पष्टीकरण योग्यप्रकारे क्वचितच केले जाते. या पुस्तकाच्या एका समीक्षकाने मला लिहिले होते:

"बृहद्‌दर्शक भिंगातून छायाचित्रे पाहिली असता ती उठावदार स्वरूपात का दिसतात या बाबतचे विवेचन कृपया पुढील आवृत्तीत करावे. कारण यथार्थदर्शकासंबंधी जे स्पष्टीकरण अनुस्यूत आहे ते मुळीसुद्धा टिकणारे नाही. एका डोळयाने यथार्थदर्शकात पहा; चित्र उठावदार स्वरूपात दिसते. मग त्याबद्दलची विचारप्रणाली काही सांगा."

मला खात्री आहे की यथार्थदर्शी दृष्टीबाबत जी विचारप्रणाली आहे तिला कोणतीच बाधा होत नाही व आपण ती सहज मान्य कराल.

खेळण्याच्या दुकानात पॅनोरामा ऊर्फ खूप रुंद दृश्याचा समग्र देखावा दाखविणारे एक खेळणे मिळते. त्यामध्ये त्रिमितीदर्शक असे जे विलक्षण परिणामकारक दृश्य दिसते त्याच्या मुळाशी हेच तत्त्व आहे. हे खेळणे म्हणजे एक लहानशी पेटी असून तीमध्ये निसर्गदृश्य किंवा माणसाचा समूह दाखविणारे नेहमीचेच छायाचित्र असते. पेटीला बसविल्या बृहद्‌दर्शक भिंगातून ते एका डोळयाने पहावयाचे असून डोळा अगोदरच यथार्थदर्शी किंवा उठावदार चित्राचा परिणाम साधणारा असतो. तसा भास अधिक प्रभावी वाटावा म्हणून चित्राच्या अग्रभागातील काही वस्तू (उदा. एखादे झाड, प्राणी किंवा व्यक्ती) कापून स्वतंत्रपणे पुढील जागेत ठेवल्या जातात. ज्या वस्तू नजीक असतात त्यांच्या वास्तविक अथवा घनरूपाबाबत आपला डोळा फार संवेदनशील असतो; दूरच्या वस्तूबाबत मात्र ही जाणीव पुष्कळ कमीच असते.

मोठे केलेले छायाचित्र

ज्या माणसाची दृष्टी सामान्य (निरोगी) अथवा प्राकृतिक आहे त्यांना बृहद्‌दर्शक भिंगावाचून छायाचित्र योग्य प्रकारे दिसावे अशा प्रकारे ते तयार करता येईल काय? दीर्घ केन्द्रांतराची भिंगे असणारा कॅमेरा वापरला म्हणजे झाले. आपणाला माहीतच झालेच आहे की २५–३० सें. मी. केन्द्रांतर असणाऱ्या भिंगाच्या सहाय्याने घेतलेले छायाचित्र, एका डोळयाने नेहमीच्या अंतरावरून पाहिले असता उठावदार दिसते.

दोन्ही डोळ्यांनी व भरपूर अंतरावरून पाहिले तरी सपाट भासणार नाही असे छायाचित्र तयार करता येईल. आपणाला ठाऊक आहेच की दृक्-पटलावरील एकसारख्या दोन प्रतिमांचे मेंदूमार्फत एकाच सपाट चित्रात संमिश्रण होते. तथापि वस्तूपासून अंतर जेवढे जास्त तेवढे मेंदूचे हे काम कमी प्रमाणात होते. ७० सें मी. केन्द्रांतर असणाऱ्या भिंगाच्या सहाय्याने घेतलेली छायाचित्रे, दोन्ही डोळ्यांनी पाहूनसुद्धा खोलीचा भास गमावणार नाहीत.

असे भिंग वापरणारे फार गैरसोयीचे असल्यामुळे मी आपणाला एक वेगळा मार्ग सुचवितो. नेहमीच्या कॅमेऱ्याने घेतलेले छायाचित्र मोठ्या, आकाराचे करा म्हणजे झाले. यामुळे योग्य परिणाम साधण्यासाठी ज्या योग्य अंतरावरून छायाचित्र पहावयाचे असते त्या अंतरात वाढ होते. १५ सें. मी. केन्द्रांतर असणाऱ्या भिंगाच्या सहाय्याने घेतलेले छायाचित्र चौपट किंवा पाचपट मोठे केल्यास इच्छित परिणाम साधता येईल. हे चित्र आपणाला दोन्ही डोळ्यानी ६० ते ७५ सें. मी. अंतरावरून पाहता येईल. हे खरे की त्यामुळे छायाचित्रात थोडीफार अस्पष्टता येईल पण एवढ्या अंतरावरून ती क्वचितच जाणवते. यथार्थदर्शी परिणाम आणि खोली यांचा विचार केला तर केवळ फायदाच झालेला दिसेल.

चित्रपटगृहातील उत्तम जागा.

चित्रपट-शौकिनांना बहुधा जाणवले असेल की काही चित्रपट अतिशय उठावदारपणे हुबेहूब त्रिमिती—दृश्य उभे करणारे असतात, एवढे की त्यातील निसर्गदृश्ये, कलावंत अगदी खरेखुरे वाटावेत. हे बहुधा समजले जाते त्याप्रमाणे चित्रपटावर अवलंबून नसून आपण कोठे बसलेले असता त्यावर अवलंबून आहे. चित्रपटाचे चित्रीकरण अगदी लघुकेन्द्राचे भिंग असणाऱ्या कॅमेऱ्याच्या साहाय्याने केलेले असले तरी त्याचे पडद्यावरील प्रक्षेपण शंभरएक पट मोठे असते व ते आपण दोन्ही डोळ्यांनी बऱ्याच अंतरावरून (१० सें. मी. × १००=१० मी) पाहू शकतो. चित्रीकरण करताना कॅमेऱ्याने दृश्याकडे ज्या कोनातून पाहिले असेल त्याच कोनातून जर आपण चित्रपट पाहिला तर तो फारच उठावदार दिसेल.

हा कोन साधण्यासाठी किती अंतराची जरूरी आहे हे कसे काय ठरविता येईल? सर्वप्रथम प्रेक्षकाने **पडद्याच्या मध्यबिंदूच्या अगदी समोर** असणारी खर्ची निवडली पाहिजे. दुसरे असे की चित्रपट्टीच्या रुंदीपेक्षा कॅमेऱ्याच्या भिंगाचे केन्द्रांतर जितके पट जास्त असेल तितक्या पटीत पडद्याची रुंदी जेवढी होईल तेवढे अंतर पडदा व खुर्ची यात असले पाहिजे. या कॅमेऱ्याचे भिंग बहुधा ३५ मि. मी; ५० मि. मी; ७५ मि. मी. किंवा १०० मि. मी. केन्द्रांतराचे असते व कशाचे चित्रीकरण करावयाचे आहे त्यावर ही

निवड अवलंबून असते. चित्रपट्टीची प्रमाणित रुंदी २४ मि. मी. असते. ७५ मि. मी. केन्द्रांतर विचारात घेतल्यास आपणास पुढील प्रमाण मिळते :

$$\frac{\text{खुर्ची–पडद्यातील अंतर}}{\text{पडद्याची रुंदी}} \quad \frac{\text{केन्द्रांतर}}{\text{चित्रपट्टीची रुंदी}} = \frac{७५}{२४} \approx ३$$

तेंव्हा, पडद्यापासून खुर्ची किती दूर असावी हे ठरविण्यासाठी पडद्याच्या रुंदीस किंबहुना, पडद्यावरील चित्राच्या रुंदीस ३ ने गुणा. आपल्या सहा पावलांएवढी पडद्याची रुंदी असेल तर खुर्ची पडद्यापासून १८ पावले दूर हवी .चित्रपट उठावदारपणे पाहण्यासाठी पुष्कळ साधने मिळतात. पण वर उल्लेखिलेल्या परिस्थितीमुळेच ते खरोखरी उठावदार दिसत असेल तर याचे श्रेय अशा साधनांना देण्यापूर्वी विचार करा.

चित्रमय मासिके वाचणाऱ्यासाठी.

पुस्तकांमध्ये आणि मासिकात जी छायाचित्रे छापलेली असतात त्यांना अर्थातच मूळ छायाचित्रांचे गुणधर्म प्राप्त झालेले असतात. योग्य अंतरावरून एका डोळयाने पाहिले असता तीसुद्धा उठावदारपणे दिसू लागतात. तथापि, मूळ छायाचित्रे वेगवेगळे कॅमेरे वापरून, म्हणजे वेगवेगळी केन्द्रांतरे असणाऱ्या भिंगानी घेतलेली असल्यामुळे योग्य अंतर किती ते अंदाजानेच ठरवावे लागते. प्रथम एका हाताने डोळा बंद करा आणि दुसऱ्या डोळयासमोर हातभर अंतरावर हातामध्ये मासिक धरा. मासिक दृष्टीरेषेस अगदी लंबरूप असले पाहिजे. आणि चित्राच्या बरोबर मध्यबिंदूसमोर तुमचा उघडा डोळा हवा. मग हळूहळू चित्र स्थिरपणे पाहत असतानाच डोळयाजवळ आणा. स्वच्छ, उठावदारपणे ते ज्या क्षणी दिसेल तेच योग्य अंतर ठरेल.

नेहमीच्या सवयीमुळे अनेक चित्रे सपाट, अस्पष्ट दिसतात. पण मी वर सुचविल्याप्रमाणे पाहिल्यास त्यांना खोली प्राप्त होऊन ती स्पष्टपणे दिसू लागतील. पाण्याची चमचम व तसेच काही यथार्थदर्शी परिणाम एखाद्यास सहजगत्या अनुभविता येतील.

आश्चर्याची गोष्ट म्हणजे अर्धशतकापूर्वीच्या व मनोरंजक स्वरुपाच्या वैज्ञानिक पुस्तकातून हे सारे काही सांगितले गेले असूनसुद्धा या साध्या गोष्टी फारच थोडया लोकांना माहीत असतात. आपल्या "मानसिक शारीरक्रियाविज्ञान" वरील पुस्तकात विल्यम कार्पेंटर, छायाचित्रे कशी पहावी यासंबंधात लिहितात:

"अशा प्रकारे छायाचित्र पाहण्याचा परिणाम विलक्षणच म्हटला पाहिजे. तसे पाहणे हे त्यातील वस्तूचे उठावदार किंवा त्रिमितीस्वरूप दाखविण्यापुरतेच मर्यादित नसते तर इतर वैशिष्टये वास्तवतेशी अधिक मिळतीजुळती

दिसून त्यायोगे चित्रविषय अधिक सूचक बनतो. विशेषत: **स्तब्ध पाण्याचे** बाबतीत ही गोष्ट चांगली स्पष्ट होते. छायाचित्रात होणारे त्याचे चित्रण फार असमाधानकारक असते आणि जरी त्याजकडे **दोन्ही डोळ्यांनी** पाहिले तरी पृष्ठभाग पांढऱ्या मेणाच्या थराप्रमाणे निर्जीव वाटतो. पण **एका डोळ्यानें** पाहिले असता हुबेहूब खोली आणि पारदर्शकता त्यास प्राप्त होते. ज्या पृष्ठ-भागावरून–उदा. धातूंच्या वस्तु किंवा हस्तीदंती वस्तू–प्रकाश परावर्तित होतो त्याबाबतीतही असाच अनुभव येतो. ज्या वस्तूंचे छायाचित्रण झाले आहे त्या कशापासून बनल्या आहेत हे बऱ्याचशा अचूकतेने ओळखण्यात **दोन्ही डोळ्यांनी** पाहण्यापेक्षा **एका डोळ्याने** पाहण्याचीच अधिक मदत होते."

आणखी एक मुद्दा ध्यानात घेण्याजोगा आहे. यापूर्वी पाहिल्याप्रमाणे मोठ्या आकाराची छायाचित्रे अधिक सजीव वाटतात. हे खरे की लहान आकारातील छायाचित्रे छायाप्रकाशातील विरोध अधिक परिणामकारकपणे दाखवितात पण ती सपाट दिसतात आणि खाली किंवा उठावदारपणाचा आभास निर्माण करण्यात अयशस्वी ठरतात. असे का व्हावे हे आता आपणास सांगता येईल. छायाचित्र लहान केल्यास त्या प्रमाणात त्रिमिती स्वरूपही कमी केले जाते; ते असते त्यापेक्षा फारच अल्पसे ठरते.

चित्रकाराची चित्रे कशी पहावीत.

छायाचित्रांच्या बाबतीत मी जे काही सांगितले आहे ते चित्रकाराने काढ-लेल्या चित्रांबाबतही काही प्रमाणांत लागू पडते. ती एका विशिष्ट अंतरावरूनच उत्कृष्ट दिसतात, कारण त्यामुळेच त्यांना उठावदार स्वरूप मिळते. तीसुद्धा एकाच डोळ्याने पाहणे श्रेयस्कर असून चित्रे लहान आकाराची असल्यास तशी अधिकच जरूरी भासते. याबाबतही कार्पेंटर आपल्या वरील पुस्तकातच म्हणतात :

"ज्या चित्रामध्ये प्रत्यक्षाचे यथार्थ चित्रण झाले असेल, तसेच त्यातील छायाप्रकाश, विविध बारकाव्यांचे रेखाटन प्रत्यक्षाशी फार मिळतेजुळते झाले असेल तर दोन्ही डोळ्यांनी ते पाहण्यामुळे जो काही परिणाम साधेल त्यापेक्षा कितीतरी अधिक पट परिणाम **एकाच** डोळ्याने पाहिले असता साधाला जाईल व चित्र अधिक प्रत्ययकारी ठरेल. शिवाय, फक्त चित्रच दिसेल अशा प्रकारे सभोवतालच्या बाजू झाकून ते हाताच्या पोकळ मुठीतून किंवा योग्य आका-राच्या नळीतून पाहिल्यास चित्र आणखीनच सजीव भासेल. हे असे होण्या-मागची कारणमीमांसा बहुदा फारच चुकीच्या मार्गे केलेली आढळते. लॉर्ड बेकन यांच्या मते असे दिसण्याचे कारण हे की दृक्शक्ती एकाच डोळ्यात अधिक एकत्रित होते व त्यामु दोन्ही डोळ्याऐवजी एका डोळ्यानेच पाहि-ल्यास चित्र अधिक यथार्थ भासते. इतर लेखकांनी हेच मत जरी वेगळ्या

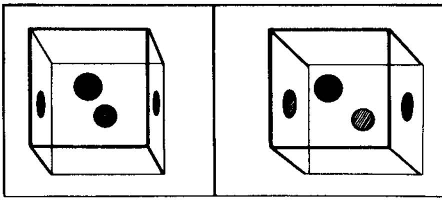
भाषेत मांडले असले तरी त्या सर्वांनी प्रत्यक्षात बेकन यांच्या विचारालाच उचलून धरलेले दिसते. प्रत्यक्षात मात्र गोष्ट अशी आहे की माफक अंतरावरून व **दोन्ही** डोळयांनी चित्र पाहतेवेळी ते सपाटच आहे असे समजण्यास आपणास **भाग पाडले** जाते; पण **एका** डोळयाने पाहतेवेळी चित्रातील यथार्थता, विविध वस्तू, इत्यादींनी जे काही सुचविले जाते त्यानुसार समजण्यास मन स्वतंत्र असते. साहजिकच, थोडा वेळ टक लावून पाहिल्यास त्यातील उठावदारपणा अधिकाधिक स्पष्ट व ठळक होत जातो आणि चित्रास एखाद्या प्रतिकृतीचो (मॉडेलची) सघनता प्राप्त होणे अगदी शक्य असते."

चित्रकाराच्या मल्या मोठ्या चित्रांची लहान आकारातील छायाचित्रे, मूळ चित्रापेक्षा अधिक उठावदार असल्याचे भासते. मोठ्या आकारातील मूळ चित्रे ज्या दूर अंतरावरून पहावी लागतात ते अंतर लहान आकाराच्या छायाचित्रात कमी केले जाते व त्यामुळेच छायाचित्र दृष्टीच्या नजिक असूनही त्यास उठावदार प्राप्त होतो.

यथार्थदर्शक

आपण ज्या सघन वस्तू पाहतो त्या दोन मापातील न दिसता तीन मापातच (लांबी-रुंदी-उंची) का दिसाव्यात? तसे पाहिले तर दृक्‌पटलावरील प्रतिमा सपाटच (दोन मापातील) असते. तर मग संवेदनामार्फत जी जाणीव होते ती भूमितीय घनतेची का असावी? याची कारणे अनेक आहेत. एक तर, कमीअधिक प्रकाशामुळे वस्तूचे वेगवेगळे भाग कमीअधिक प्रकाशमान झालेले असतात, त्यामुळे तिचा आकार ध्यानात येण्यास मदत होते. दुसरे असे की वस्तूचे (चित्रविषयाचे) वेगवेगळे भाग वेगवेगळ्या अंतरावर असल्यामुळे त्यांची सुस्पष्ट जाणीव करून घेण्यासाठी जो ताण **पडतो** त्याचाही काही भाग असतोच. तिसरे आणि सर्वांत महत्त्वाचे कारण हे की दोन दृक्‌पटलावरील प्रतिमा एकमेकांपासून वेगळ्या असतात. एखाद्या वस्तूकडे एकेका डोळयाने आलटून पालटून पाहिले असता ही वस्तुस्थिती लगेच ध्यानात येते (आ. १२० व १२२).

आता एकाच वस्तूच्या दोन चित्रांची कल्पना करा. एका डाव्या डोळयाने पाहिल्याप्रमाणे तर दुसरे उजव्या डोळयाने पाहिल्याप्रमाणे. या दोन चित्राकडे पाहताना प्रत्येक डोळयास फक्त त्याचे त्यास दिसणारे चित्रच पहावयास मिळेल अशी काळजी घ्या. अशा प्रकारे पाहिल्यास दोन सपाट चित्रे दिसण्याऐवजी एकच पण उठावदार किंवा खोली भासणारे चित्र पहावयास मिळेल. हा उठावदारपणा, निव्वळ एका डोळयाने वस्तू पाहण्याच्या मानाने कितीतरी अधिक परिणामकारक असतो.



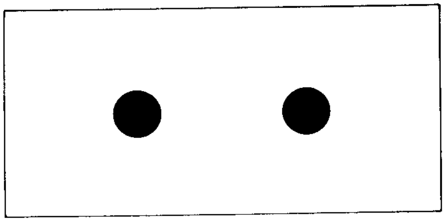
आ. १२२ ठिपके असणारा चौकोनी ठोकळा
डाव्या व उजव्या डोळ्यास स्वतंत्रपणे
असा दिसतो.

अशा चित्रांच्या जोड्या पाहण्यासाठी यथार्थदर्शक नावाचे एक खास साधन मिळते. दोन चित्रांचे अध्यारोपण करण्यासाठी म्हणजेच ती एकमेकात मिसळून जाण्यासाठी, पूर्वीच्या यथार्थदर्शकामध्ये आरसे वापरत पण आधुनिक यथार्थदर्शकामध्ये फुगीर भिंगे वापरतात. त्यांच्या फुगीरतेमुळे चित्र किंचितसे मोठे होते. चित्रांकडून येणारा प्रकाश अशाप्रकारे वक्रीभूत केला जातो की त्यांच्यानंतरच्या कल्पित मार्गक्रमणातून अध्यारोपण साध्य होते.

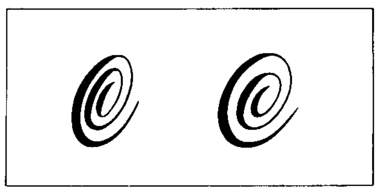
एकंदरीत, यथार्थदर्शकाचे मूलभूत तत्त्व फारच साधे आहे, पण त्यामुळे जो परिणाम साधला जातो तो मोठा विस्मयजनक असतो. आपल्यापैकी अनेकांनी अशी चित्रे पाहिली असतीलच. काहींनी तर त्रिमितीमापनशास्त्र अधिक सुलभतेने शिकविण्यासाठी त्याचा उपयोग केला असेल. या ठिकाणी मी यथार्थ दर्शकाचे उपयोग सांगणार असून ते आपल्यापैकी अनेकांना बहुदा ठाऊक नसावेत असा माझा कयास आहे.

नैसर्गिक यथार्थदर्शक

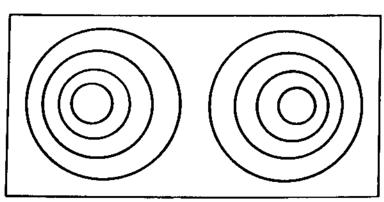
आपले डोळे जर सरावले तर चित्रांच्या जोड्या पाहण्यासाठी आणि विशिष्ट परिणाम साधण्यासाठी तर यथार्थदर्शक टाळता येईल. मात्र, यथार्थदर्शकातून ते ज्याप्रमाणे किंचितसे मोठे दिसते तसे दिसणार नाही. यथार्थदर्शकाचा जनक व्हिटस्टोनने निसर्गाच्या या रचनेचा वापर केला. या ठिकाणी यथार्थदर्शकातून पहावयाची विविध चित्रे दिली असून ती क्रमक्रमाने अवघड होत जाणारी आहेत. यथार्थदर्शकाचे सहाय्य न घेता ती केवळ डोळ्यांनी पाहण्याचा प्रयत्न करा. भरपूर प्रयत्नानंतरच यथार्थदर्शी परिणाम साधता येईल. (एक लक्षात घ्या की यथार्थदर्शी स्वरूपात सारेच काही पाहू शकत नाहीत. काहींना– उदा. तिरळ्या डोळ्यांच्या किंवा एकाच डोळ्याने काम कर-



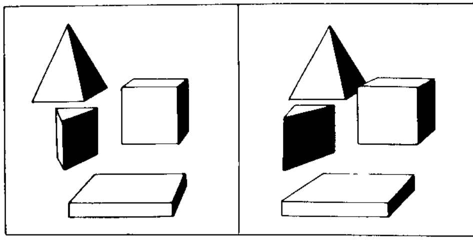
आ. १२३ दोन ठिपक्यातील जागेकडे टक्क लावून पाहत रहा. ठिपके एकमेकात मिसळून गेल्याचे भासेल.



आ. १२४ वरीलप्रमाणेच पहा. नंतर पुढील उदाहरणाकडे वळा.



आ. १२५ जेव्हा या दोन्ही आकृत्या एकमेकात मिसळून जातील तेव्हा एखाद्या नळामध्ये खोलवर पाहत असल्याचे जाणवेल.



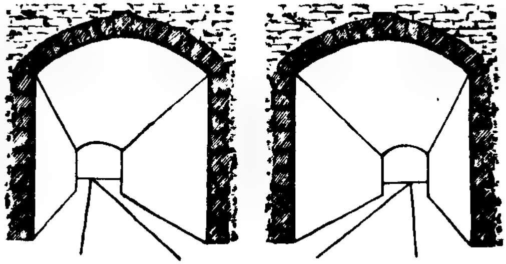
आ. १२६ जेव्हा या भूमितीय चार आकृत्या एकमेकात मिसळून जातील तेव्हा त्या जणू हवेत तरंगत असल्याचा भास होईल.

गाऱ्या ऊर्फ एकाक्ष व्यक्तींना – हे असे द्विनेत्री दृष्टीने पाहणे अत्यंत अवघड जाते, तसा सराव करण्यास ते पूर्ण असमर्थ ठरतात. काहींना दीर्घ प्रयत्नांनंतरच ते जमेल. तरुणांना मात्र, २०–२५ मिनिटांच्या प्रयत्नाने अशा प्रकारे पाहण्याचा सराव होऊ शकतो).

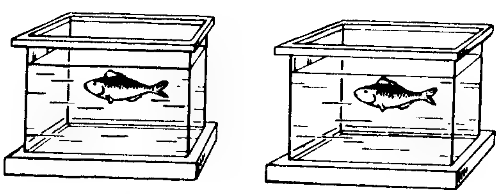
दोन काळे ठिपके दाखविलेल्या आ. १२३ पासून सुरवात करा. दोन ठिपक्यातील जागेकडे काही सेकंद अगदी टक लावून बघा आणि त्याचवेळी पाठीमागे असणाऱ्या कल्पित वस्तूकडेही पहा. थोड्याच वेळात दुप्पट म्हणजे दोन ठिपक्याऐवजी चार ठिपके दिसू लागतील. मग अगदी कडेचे दोन ठिपके एकमेकांपासून दूर सरकू लागतील, तर अगदी आतले दोन एकमेकांचे नजिक येऊन एक होतील. अशाच प्रकारे आ. १२४ व १२५ पहा. एखाद्या लांबलचक नळीतून दूरवर दृष्टी पोचत आहे असा भास होईल.

त्यानंतर, आ. १२६ पहा. भूमितीमधील दाखविलेल्या त्या आकृत्या जणू हवेत मध्यभागी लोंबकळत असल्याचे दिसेल. आ. १२७ मध्ये दूरवर जाणारा बंद मार्ग किंवा भुयार असल्याचे भासेल आ. १२८ मुळे एखाद्या मत्स्यालयातील पारदर्शक काचेचा भास निर्माण होईल. अखेर, आ. १२९ मुळे संपूर्ण त्रिमिती असा सागरी देखावा दृष्टीपुढे उभा राहील.

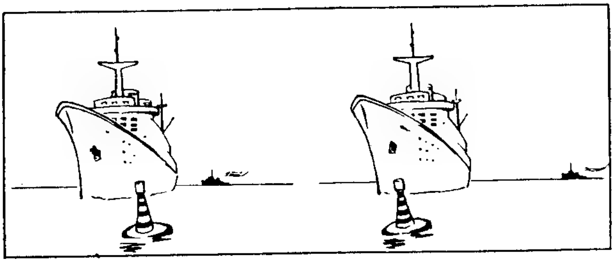
अशा प्रकारे यथार्थदर्शी पाहता येणे फारसे अवघड नाही. माझ्या अनेक मित्रांनी थोड्याशा प्रयत्नांतीच ते साध्य केले. दीर्घ किंवा ऱ्हस्व दृष्टीच्या व्यक्तींनी आपले चष्मे काढण्याची गरज नाही. जणू काही एखाद्या चित्राकडेच पाहिल्याप्रमाणे ते चित्रांची जोडी पाहतात. अंदाजाने चित्रे किती अंतरावर



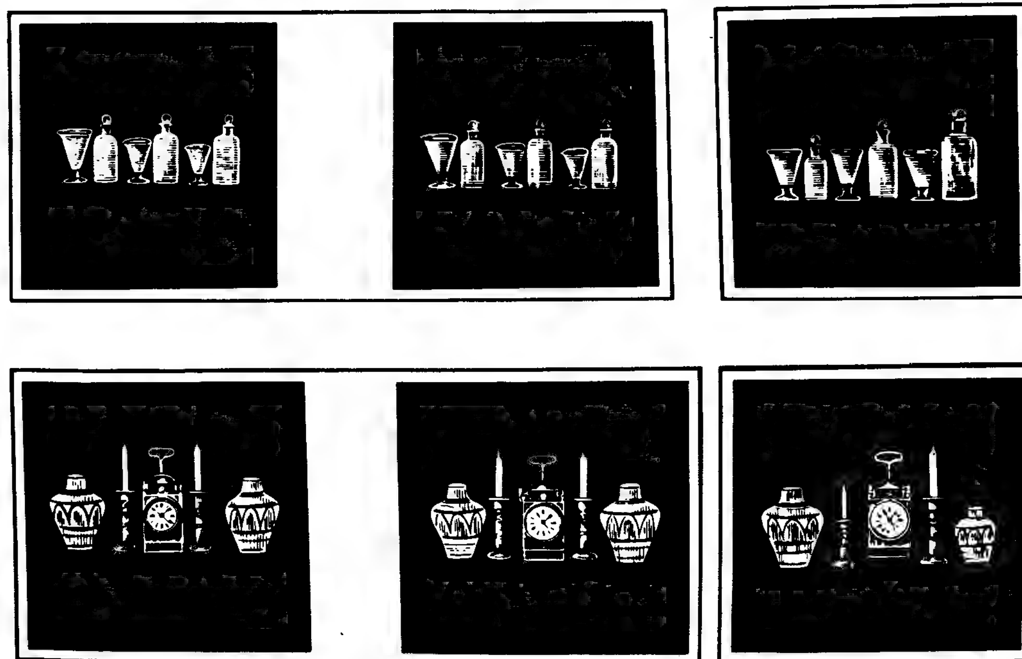
आ. १२७ या जोडचित्रामुळे खूप लांब रस्ता दूरवर गेल्याचा आभास निर्माण होतो.



आ. १२८ काचेच्या मत्स्यपेटीतील मासा.



आ. १२९ यथार्थदर्शी समुद्रदृश्याचे जोडचित्र



आ. १३०

दृष्टीत ते नक्की करा. भरपूर प्रकाशात पहा. ते फार महत्त्वाचे आहे.

या सरावातून, यथार्थ दर्शकाच्या मदतीशिवाय त्यातून पहावयाच्या चित्रजोड्या पाहण्यास सुरवात करा. प्रथम आ. १३० व १३३ मध्ये जी जोडचित्रे दिली आहेत ती पाहण्याचा प्रयत्न करा. "डोळ्यांना फार ताण पडेल असे काही करू नका किंवा फार वेळ पाहत बसू नका. जर नाहीच जमले तर नाऊमेद होण्याचे काहीच कारण नाही. एखाद्या दीर्घ-दृष्टीसाठी वापरावयाच्या चष्म्याची आपण मदत घेऊ शकता. एका पुठ्ठ्यावर छेद घेऊन या चष्म्याची भिंगे त्यावर अशा प्रकारे बसवा की या भिंगाच्या केवळ आतल्या कडांमधून पाहता येईल. दोन्ही चित्रांच्या मध्यभागी कागदाचा किंवा पुठ्ठ्याचाच पडदा उभा करा (भिंतीसारखा) आणि आता भिंगामधून पहा. हा यथार्थदर्शक उत्कृष्टपणे काम करेल.

एका डोळ्याने व दोन डोळ्यांनी.

आ. १३० मधल्या डावीकडील वरच्या दोन छायाचित्रात तीन बाटल्या संभवतः सारख्याच आकाराच्या वाटण्याजोग्या दाखविल्या आहेत. आपण कितीही डोळे ताणून पाहिले तरी त्यांच्या आकारातील फरक कळणार नाही. पण फरक नक्कीच आहे. शिवाय तो ठळकही आहे. त्या एकसारख्या दिसतात कारण त्या डोळा किंवा कॅमेऱ्यापासून समान अंतरावर ठेवलेल्या नाहीत. मोठी बाटली छोट्या बाटलीपेक्षा अधिक अंतरावर आहे, पण त्या तीन बाटल्यांपैकी सर्वांत मोठी कोणती? कितीही वेळ त्यांचे निरीक्षण केले तरी उत्तर मिळणार नाही. पण यथार्थदर्शक किंवा द्विनेत्री दृष्टीने पाहताच प्रश्न सहजगत्या सुटतो. मग आपल्या चटकन ध्यानात येईल की डावीकडची बाटली अत्याधिक दूर असून उजवीकडची अगदी जवळ आहे उजवीकडील कोपऱ्यातील छायाचित्र बाटल्यांचं खरे आकार दर्शविते.

याच आकृतीतील खालची चित्रजोडी अधिक सतावणारी वाटेल. त्यातील पुष्पपात्रे आणि मेणबत्तीची घरे जरी एकसारखी दिसत असली तरी त्यांच्या आकारात खूपच तफावत आहे. डावीकडील पुष्पपात्र उजवीकडील पुष्पपात्रापेक्षा दुप्पट उंचीचे असून डावीकडील मेणबत्ती-घर हे घड्याळापेक्षा आणि उजवीकडील मेणबत्ती-घरापेक्षा कितीतरी लहान आहे. द्विनेत्री दृष्टीमुळे यामागील कारण लगेच उघड होते. या वस्तू एका रांगेत नसून वेगवेगळ्या अंतरावर आहेत. मोठ्या वस्तू छोट्या वस्तू पेक्षा अधिक दूरवर आहेत. एकनेत्री दृष्टीपेक्षा द्विनेत्री दृष्टी किती फायदेशीर ठरते हे दर्शविणारे सर्वोत्तम उदाहरण म्हणून त्याजकडे बोट दाखविता येईल.

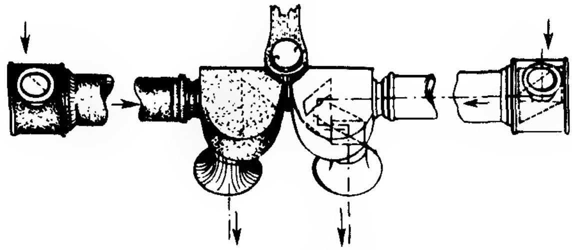
खोटे कागद उघडकीस आणणे

समजा, आपणाजवळ समान आकाराच्या व काळचा रंगाने काढलेल्या चौकोनांची दोन चित्रे आहेत. यथार्थदर्शकातून ती पाहिल्यास दोन चौकोनांऐवजी एकच चौकोन दिसेल व आकाराने तो मूळ चित्रातील कोणत्याही चौकोनाएवढाच दिसेल. प्रत्येक चौकोनाच्या मध्यभागी पांढरा ठिपका असेल तर यथार्थदर्शकातून दिसणाऱ्या चौकोनावरही तो मध्यभागीच दिसेल. पण एका चौकोनावरील ठिपका मध्यबिंदूपासून किंचितसा जरी वेगळ्या ठिकाणी दाखविला गेला तर यथार्थदर्शकातून एकच ठिपका पहावयास मिळेल खरा पण तो चौकोनाच्या मागे किंवा पुढे दिसेल, चौकोनावर मात्र दिसणार नाही. अशा अल्पशा फरकामुळे यथार्थदर्शकात खोलीचा आभास निर्माण होतो. खोटे कागद उघडकीस आणण्यास हा सोपा मार्ग उपयोगी पडतो. संशयास्पद कागद, मूळ कागदाच्या बरोबरीने यथार्थदर्शकात ठेवला म्हणजे झाले काम. खोटा कागद कितीही अक्कलहुषारीने तयार केलेला असला तरी दोहोंतील अत्यल्प फरक (ओळीतला, हस्ताक्षरातील. इ.) डोळ्यांना चटकन समजून येईल; तो मूळ कागदाच्या **पुढे किंवा मागे** दिसेल. (१९ व्या शतकाचे मध्यास डोव्ह याने ही कल्पना प्रथम मांडली. तथापि आजच्या अत्यंत प्रगत मुद्रणतंत्रामुळे चलनी नोटांमधील फसवेगिरी शोधून काढण्यासाठी या पद्धतीचा वापर होत नाही. पुस्तकाची दोन पाने, टंकलिखित किंवा हस्तलिखित दस्तऐवज यातील खोटेपणा उघडकीस आणण्यास मात्र डोव्हचे वरील तंत्र नक्कीच उपयोगी ठरेल).

जणू राक्षसाच्या दृष्टीतूनच

जर वस्तू खूपच दूर म्हणजे ४५० मी. पेक्षा जास्त अंतरावर असेल तर यथार्थदर्शकातून पाहण्याने काहीच परिणाम साधेनासा होतो. ४५० मी. अंतराच्या तुलनेने आपल्या दोन डोळ्यातील ६ सें. मी. चे अंतर काहीच नव्हे. दूरवरच्या इमारती, डोंगर, निसर्गदृश्ये, सारे काही सपाट वाटणार. त्याचप्रमाणे आकाशातील सारे तारे जरी वेगवेगळ्या अंतरावर असले तरी समान अंतरावर असल्याप्रमाणेच दिसणार. इतर ग्रहांच्या तुलनेने आपला चंद्र कितीतरी जवळ आहेत आणि ताऱ्यांपेक्षा ग्रह किती तरीजवळ आहेत. पण त्यांची जोडछायाचित्रे यथार्थदर्शकातून पाहिल्यास खोलीचा परिणाम शून्य दाखवितात

तथापि, यावर एक सोपा उपाय आहे. दूरवरील वस्तूची दोन छायाचित्रे वेगवेगळ्या ठिकाणांहून घ्या. मात्र हे दोन बिंदू डोळ्यांमधील अंतरापेक्षा जास्त अंतरावर असावयास हवेत. निसर्गदृश्याची जोड छायाचित्रे अगदी याचप्रमाणे तयार केली जातात. ती पाहण्यासाठी बृहद्दर्शक लोलक वापरले जातात आणि

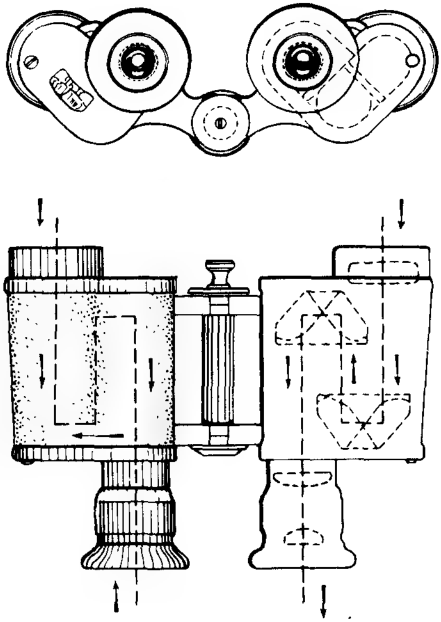


आ. १३१ दूर-यथार्थदर्शक.

निर्माण होणारा परिणाम थक्क करणारा असतो.

आता आपल्या ध्यानात आलेच असेल की सभोवतालचे देखावे, त्रिमिती स्वरूपात पाहण्यासाठी दोन लहान दुर्बिणींची योजना करता येईल. अशा उपकरणास दूर यथार्थदर्शक म्हटले जाते व त्यामध्ये डोळ्यामधील अंतरापेक्षा अधिक अंतरावर दोन दूरदर्शक बसविलेले असतात. परावर्ती लोलकाच्या सहाय्याने दोन प्रतिमांचे अध्यारोपण साधले जाते. (आ. १३१).

दूरयथार्थदर्शकातून पाहण्याचा अनुभव एवढा चित्तथरारक असतो की तो शब्दांनी वर्णन करण्यापलीकडेचा ठरतो. सारा निसर्ग बदलतो. दूरवरचे डोंगर साकार होतात; वृक्ष, पाषाणखंड, इमारती, जहाजे इत्यादी सारे काही त्रिमिती स्वरूपात डोळ्यापुढे सजीव, साकार झाल्याप्रमाणे भासतात. सपाटपणा नाहीसा होतो आणि निश्चलता कोठल्याकोठे लोपून जाते. नेहमीच्या दूरदर्शकातून जे जहाज क्षितिजावर स्तब्ध ठिपक्याच्या रूपात दिसते ते हालणारे भासते. पूर्वीच्या दंतकथातील राक्षस अशा प्रकारे पाहू शकत. एखाद्या दूरयथार्थदर्शकाचे दृक्सामर्थ्य जर दहापट असेल आणि त्याच्या भिंगातील अंतर दोन डोळ्यातील अंतरापेक्षा सहापटीने जास्त असेल (६.५ X ६ = ३९ सें. मी.) तर निव्वळ डोळ्यांनी जाणवणारा उठावदारपणा किंवा त्रिमिती स्वरूपाचा आभास साठ पट (६X१०) अधिक वाढेल. अगदी २५ कि. मी. अंतरावरील वस्तू, जाणवण्याइतपत उठावदार दिसतील. जमीनीचे सर्वेक्षण, नाविक, दूरवरची गोळाफेक आणि प्रवासी यांना हे उपकरण म्हणजे वरदानच म्हटले पाहिजे. त्यास जर अंतर निश्चित करणाऱ्या उपकरणाची जोड असेल तर दुधात साखरच पडली असेच म्हणावे लागेल. तसाईसची लोलकयुक्त द्विनेत्री उपकरणे हाच परिणाम निर्माण करतात, कारण त्यातील भिंगे डोळ्या-



आ. १३२ लोलकयुक्त द्विनेत्री.

तील अंतरापेक्षा जास्त अंतरावर बसविलेली असतात (आ १३२). मात्र नाटय– नृत्यगृहात वापरल्या जाणाऱ्या छोटया दूरदर्शकातील भिंगे एवढ्या जास्त अंतरावर बसविलेली नसतात. कारण त्रिमिती भास कमीच निर्माण करावयाचा असतो. त्यामुळेच एकंदर सजावट आणि मांडणी यांचा इच्छित परिणाम होतो.

यथार्थदर्शकातून दिसणारे विश्व

आपण जर चंद्राकडे किंवा इतर आकाशस्थ ज्योतींकडे दूरयथार्थदर्शक रोखला तर त्रिमितीचा कोणताच आभास निर्माण होणार नाही. हे अगदी नैसर्गिकच आहे. अशा उपकरणासाठी आकाशस्थ ज्योतींची अंतरे फारच अमर्याद ठरतात. नाही तरी दोन भिंगातील ३०–३५ सें मी. चे अंतर, पृथ्वी आणि आकाशस्थ ज्योतींच्या दरम्यान असणाऱ्या अंतरांच्या तुलनेने अगदीच नगण्य ठरते. अगदी दोन दूरदर्शक जरी पाचपन्नास किंवा शेकडो कि. मी. अंतरावर जरी बसविले गेले तरीसुद्धा कोणताच परिणाम साधणार

नाही, कारण ग्रहादी ज्योती लक्षावधी कि. मी. च्या पटीत आहेत.

या ठिकाणी यथार्थदर्शी छायाचित्रण उपयोगी पडते. कल्पना करा की एखाद्या ग्रहाचे आज छायाचित्र घेतले आणि त्याचेच पुन्हा दुसऱ्या दिवशी छायाचित्र घेतले. दोन्ही छायाचित्रे पृथ्वीवरून एकाच ठिकाणाहून आणि एकाच वेळी जर घेण्यात आली तरी पृथ्वीचे या २४ तासात लक्षावधी कि मी. ने स्थानांतर झालेले असते. म्हणजे, एकंदर सूर्यमालेच्या दृष्टीने विचार करता छायाचित्रे दोन वेगवेगळ्या बिंदूपासून घेतली जातात. तर मग छायाचित्रे एकसारखी मुळीच नसणार. यथार्थदर्शकातून या दोन छायाचित्रामुळे त्रिमितीचा किंवा उठावदारपणाचा भास निर्माण होईल. यथार्थदर्शकातून पाहण्याजोगी छायाचित्रे घेण्यास जर कोणी मदत केली असेल तर ती पृथ्वीच्या सूर्याभोवती फिरण्याने ! एखाद्या राक्षसाचे डोके एवढे मोठे असावे की त्याच्या दोन डोळ्यातील अंतर लक्षावधी कि. मी. भरावे. अशी कल्पना केल्यावरच, यथार्थदर्शी छायाचित्रणामार्गे खगोलशास्त्रज्ञ ज्या असामान्य परिणामाचा अनुभव घेतात त्याची थोडी फार कल्पना येईल.

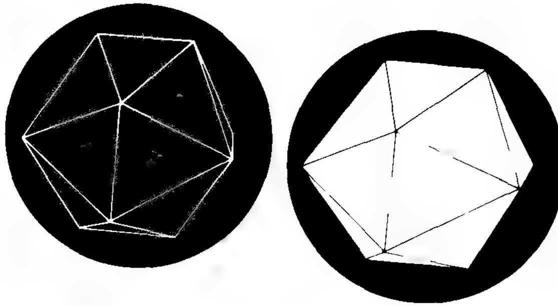
मंगळ आणि गुरू या ग्रहांच्या मधल्या जागेतून जे लघुग्रह फिरत आहेत त्यांचा शोध लावण्यासाठी यथार्थदर्शकाचा वापर केला जातो. यापूर्वी, जर एखादा लघुग्रह कर्मधर्मसंयोगाने सापडलाच तर खगोलशास्त्रज्ञास मोठा शकून झाल्याचे वाटे. आज मात्र वेगवेळ्या वेळी घेतलेली छायाचित्रे यथार्थ-दर्शकातून पाहून लघुग्रह सापडतो काय ते पाहिले जाते. यथार्थदर्शक लघुग्रह खड्यासारखा वेगळा दाखवितो; तो जणू आपणहून हजर होता.

यथार्थ दर्शकाच्या सहाय्याने आपणास आकाशस्थ ज्योतीमधील केवळ **स्थान भिन्नताच** शोधून काढता येत नाही तर त्यांच्या **दीप्तीतील** ऊर्फ तेजातील फरकही जाणता येतो यामुळे, ज्यांचा एकाश नियतकालिक म्हणजे ठराविक कालाने कमीजास्त होतो अशा **रूपविकारी** ताऱ्यांचा मागोवा यथार्थ-दर्शकाच्या सहाय्याने घेणे शक्य झाले आहे. तारा वेगळ्याच प्रकारची दीप्ती दाखवू लागला की यथार्थदर्शकाने त्यास तात्काळ ओळखलेच समजावे.

त्रिनेत्री दृष्टी

वरील शीर्षक वाचून लेखकाची काही गफलत तर होत नाहीना असेच वाटेल. पण तसे काही नसून तीन डोळ्यांना दिसणारे चित्र हाच अर्थ अभिप्रेत आहे. पण एखादी व्यक्ती तीन डोळ्यांनी कसे पाहणार? आणि एखाद्यास तिसरा डोळा तरी कसा काय उपलब्ध होणार ?

आपणाला किंवा मला विज्ञान काही तिसरा डोळा देऊ शकणार नाही;



आ. १३३ यथार्थदर्शी चमचमाट. या जोड-
चित्रामुळे यथार्थदर्शकात काळ्या
पार्श्वभूमीवर चमचमता स्फटिक
साकार होतो.

पण एखाद्या त्रिनेत्री प्राण्यास वस्तू कशा दिसतील ते पाहण्याची तांत्रिक सोय नक्कीच उपलब्ध करून देईल. प्रथम हे लक्षात घ्या की नेहमीच्या जीवन-क्रमात एकाक्ष माणसास उठावदारपणाची अनुभूती होत नाही व शक्यही नाही. तरीसुद्धा, यथार्थदर्शकातून पाहण्याचे जोडचित्र आपल्या एका डोळ्याने पाहून तो उठावदारपणाचा अनुभव घेऊ शकतो. त्यासाठी सर्वसामान्य माणूस त्याच्या दोन डोळ्यांनी मिळून जे दृश्य पाहतो त्याची फक्त उजव्या डोळ्यास दिस-णारी व फक्त डाव्या डोळ्यास दिसणारी छायाचित्रे पडद्यावर वेगाने व क्रमवार प्रक्षेपित करावी. याचा एकूण परिणाम तसाच म्हणजे दोन चित्रे एकाच वेळी पाहिल्याप्रमाणे होईल, कारण वेगाने क्रमवार दाखविलेली चित्रे एकमेकात मिसळून जातात. (काही वेळा चित्रपटातील दृश्यात फार आश्चर्य-जनक अशी "खोली" जाणवते, ती इतर कारणांप्रमाणे या कारणामुळेही असू शकते. जर कॅमेऱ्याची इकडून-तिकडे प्रमाणबद्ध हालचाल झाली–चित्रपट्टी गुंडाळताना तशी हालचाल होणे अगदी शक्य असते–तर चित्रे एकसमान टिपली जाणार नाहीत आणि पडद्यावर जलद गतीने सरकताना ती एकमेकात मिसळून त्रिमिती प्रतिमेचा आपणास भास होईल.)

अशा वेळी दोन डोळ्यांची व्यक्ती, दोन छायाचित्रांचा वेगवान क्रम आणि आणखी एका दिशेने घेतलेले तिसरे छायाचित्र दुसऱ्या डोळ्याने नाही का पहाणार ? किंवा वेगळ्या शब्दात, तो यथार्थदर्शी असे "त्रिकूट" पाहणार ना? आपणास तसे पाहणे शक्य आहे. वेगाने उलटून पालटून दिसणाऱ्या यथार्थ-

13-0867

दर्शी जोडचित्रामुळे एका डोळ्यास एकच चित्र, पण ते उठावदार प्रकृतीचे दिसेल तर दुसरा डोळा तिसऱ्या छायाचित्राचे अवलोकन करेल. या अशा तीन डोळ्यां"च्या दृष्टीमुळे उठावदारपणा किंवा त्रिमिती परिणाम अत्युत्कृष्ट दर्जा गाठतो.

यथार्थदर्शकातील चमचमाट

आ. १३३ मध्ये बहुपृष्ठक आकृती दाखविली असून एका काळ्या पार्श्वभूमीवर पांढरी व दुसरी पांढऱ्या पार्श्वभूमीवर काळी याप्रमाणे आहे. यथार्थदर्शकातून त्या कशा दिसतील? हेल्महोल्ट्झ काय म्हणतो ते पहा:

"यथार्थदर्शी जोडचित्रांपैकी एकात विशिष्ट आकृती पांढरी व दुसऱ्यात काळी याप्रमाणे असेल तर त्यांची एकत्रित प्रतिमा चमचमताना दिसेल, मग वापरलेला कागद उजळ नसला तरी फरक पडणार नाही. स्फटिकांच्या प्रतिकृतींची अशा प्रकारे तयार केलेली जोडचित्रे चमकत्या ग्राफाईटचा भास निर्माण करतात. अशा प्रकारे तयार केलेल्या यथार्थदर्शी जोडचित्रांमुळे पाण्याचा चमचमाट, पानांचे चकाकणे व अशा प्रकारच्या इतर गोष्टी फारच प्रकर्षाने दिसण्यास मदत होते."

"ज्ञानेंद्रियांचे शारीरक्रियाविज्ञान: दृष्टी" या १८६७ साली प्रसिद्ध झालेल्या खूप जुन्या पण अद्यापही उपयुक्त असणाऱ्या आपल्या पुस्तकात रशियन शारीरक्रियावेत्ते सिचेने सिचेनेव्ह यांनी वरील आविष्काराचे मोठे सुंदर स्पष्टीकरण केलेले आहे. ते लिहितात:

"वेगवेगळ्या प्रकारे प्रकाशित केलेल्या किंवा वेगवेगळ्या प्रकारे रंगविलेल्या पृष्ठांची यथार्थदर्शी सरमिसळ होण्याबाबत जे प्रयोग केले, त्यामध्ये प्रत्यक्ष परिस्थिती निर्माण होते व वस्तू चमकणाऱ्या दिसतात. एखादा निस्तेज पृष्ठभाग पॉलिश केलेल्या चकाकत्या पृष्ठापेक्षा कशाप्रकारे वेगळा ठरतो? पहिल्या प्रकारात प्रकाश परावर्तित होऊन सर्वत्र विखुरला जातो, त्यामुळे कोणत्याही दिशेने पाहिले तरी तो एकसारखाच प्रकाशमान झालेला दिसतो. पॉलिश केलेला पृष्ठभाग मात्र एका निश्चित दिशेनेच प्रकाशाचे परावर्तन करतो. यामुळे असे अनुभवास आलेच असेल की एका डोळ्यास अनेक परावर्तित किरण दिसतात तर दुसऱ्यास जवळजवळ एकही दिसत नाही. पांढऱ्या पृष्ठभागाची काळ्या पृष्ठभागाशी यथार्थदर्शकामार्फत जी सरमिसळ होते त्याच्याशी जुळणारी नेमकी हीच परिस्थिती असते. पॉलिश केलेल्या चमकत्या पृष्ठाकडे पाहताना परावर्तित प्रकाशाची दोन डोळ्यांमध्ये विषम विभागणी होण्याचे प्रसंग यामुळे नक्कीच उद्भवणार. म्हणूनच अशा सरमिसळीच्या वेळी यथार्थदर्शकातून दिसणारा चमचमाट हेच सिद्ध करतो की हा अनुभव

श्रेष्ठ आहे. अनुभवी दृष्टीस प्रत्यक्ष अनुभविलेल्या एखाद्या घटनेशी संबंध जोडण्याची संधी मिळताच दृष्टिक्षेत्रातील विरोध अशा अनुभवजन्य धारणे-प्रमाणेच पक्का होतो.

अशा प्रकारे वस्तू चमकण्याचे कारण—किंवा एक तरी कारण—हे की, दोन दृक्पटलीय प्रतिमा एकसारख्याच तेजस्वी नसतात. यथार्थदर्शका-शिवाय ही वस्तुस्थिती क्वचितच ध्यानात आली असती.

आगगाडीच्या खिडकीतून निरीक्षण

"फार पूर्वी" म्हणता येणार नाही अशा काळीच माझ्या ध्यानात आले होते की, एकाच वस्तूच्या दोन भिन्न प्रतिमा वेगाने आलटून पालटून पाह-ण्यात आल्या तर त्या एकमेकीत मिसळून जातात व त्रिमिती स्वरूपाचा किंवा उठावदारपणाचा भास निर्माण करतात. आपण स्वतः स्थिर राहून हालत्या प्रतिमा पाहण्यामुळेच असे घडते का ? किंवा, आपण हालतेचालते व प्रतिमा स्थिर अशा परिस्थितीत ते अनुभवास येते ? प्रत्यक्षात गोष्ट अशीच आहे. अपेक्षेनुसार एकसारखाच भास निर्माण होतो. पुष्कळांच्या बहुदा ध्यानी आले असेल की, धावत्या गाडीतून केलेले चित्रीकरण अगदी यथार्थ-दर्शकाप्रमाणे मोठे असाधारण त्रिमिती स्वरूपाचे भासते. धावत्या गाडीत किंवा मोटारीत आपण जर काळजीपूर्वक लक्ष दिले तर आपणासही तसेच दिसेल. निसर्गदृश्य एवढे उठावदार भासते की, अग्रभूमी ही पार्श्वभूमीपेक्षा कितीतरी सुस्पष्टरीत्या वेगळी दिसते. स्थिर अशा डोळ्यांच्या द्विनेत्री दृष्टी-बाबत असणारी ४५० मी. अंतराची "यथार्थदर्शी मर्यादा" कितीतरी अधिक वाढविली जाते.

एखाद्या वेगवान आगगाडीच्या खिडकीतून निसर्गदृश्याचा जो आल्हाददायक परिणाम मनावर होतो त्याचे कारण यामुळे स्पष्ट नाही का होत ? दूरवरच्या वस्तू मागे सरकतात आणि आपल्यापुढे जो विस्तृत देखावा उल-गडला जातो त्याची भव्यता सुस्पष्टरीत्या प्रकर्षाने अनुभवास येते. एखाद्या वनप्रदेशातून जाताना प्रत्येक वृक्ष, त्यांच्या फांद्या आणि पाने यथार्थदर्शकातून पाहिल्याप्रमाणे साकार होताना दिसतात; एकाच जागी स्थिर असणाऱ्यास दिसेल त्याप्रमाणे सपाट दृश्य दाखविण्याकडे त्यांची सरमिसळ होत नाही. डोंगरावरील रस्त्याने वेगाने गाडी जात असताना हाच परिणाम होतो आणि डोंगरादऱ्याचे आकार जणु स्पर्शाद्वारे कळल्याचे भासते.

एकाक्ष व्यक्तींनासुद्धा याप्रमाणे पाहता येईल—आणि मला खात्री आहे की, त्यामुळे मोठी चकित करणारी संवेदना अनुभविण्यास येईल. अखेर पाहणे म्हणजे वेगाने सरकणाऱ्या चित्रांमधून जो उठावदारपणा निर्माण होतो

तोच पाहणे नव्हे काय? याचा उल्लेख यापूर्वी करण्यात आलाच आहे. (एखाद्या वळणावरून जाणाऱ्या आगगाडीतून, वळणाऱ्या त्रिज्येकडून येणाऱ्या वस्तूंचे चलच्चित्रीकरण झाल्यास चित्रपटातील अशा दृश्यात उठावदारपणाचा जो भास निर्माण होतो त्याचे कारणही वरीलप्रमाणेच आहे).

या माझ्या विधानातील सत्यता पडताळून पाहणे फारच सोपे आहे. मोटारीतून किंवा आगगाडीतून जाताना आपल्या दृष्टीविषयक जाणीवेकडे अथवा संवेदनांकडे बारीक लक्ष द्या, म्हणजे डोव्ह याने शंभरएक वर्षांपूर्वीच विशद केलेली आणखी एक विस्मयजनक परिस्थिती अनुभवास येईल— जवळच्या वस्तू नजरेसमोरून वेगाने जातात, लहान आकाराच्या भासतात! यामागील कारणाची द्विनेत्री दृष्टीशी कोणताच संबंध नाही. वस्तूपर्यंतच्या अंतराबाबतचा आपला अंदाजच चुकीचा असतो. आपले अर्धजागृत मन सांगत असते की, नेहमी मोठी दिसणारी नजिकची वस्तू प्रत्यक्षात लहान असते. निदान हेल्महोल्ट्झचे स्पष्टीकरण याप्रमाणे आहे.

रंगीत काचेतून

पांढऱ्या कागदावरील **तांबड्या** रंगातील लिखाण जर तांबड्याच काचेतून पाहिले तर फक्त तांबडी पार्श्वभूमीच दिसेल; अक्षरे तांबड्या पार्श्वभूमीत विरून दिसेनाशी होतील. पण याच लाल काचेतून **पांढऱ्या** कागदावरील **निळी** अक्षरे पाहिल्यास ती पुन्हा तांबड्याच पार्श्वभूमीवर पण "स्वच्छ" काळी दिसतील. काळी का? याचा खुलासा सोपा आहे. तांबड्या काचेतून निळे किरण जात नाहीत; फक्त तांबडे किरणच जाणे शक्य असते, म्हणून ती तांबडी आहेत. यामुळेच निळी अक्षरे दिसण्याऐवजी, प्रकाशाचा आभाव जाणवतो, म्हणजेच काळी अक्षरे दिसतात.

हा जो परिणाम घडतो तो रंगीत **त्रिमितीदर्शन** या नावाने ओळखला जातो. तो यथार्थदर्शी जोडचित्रांच्या परिणामासारखाच असून रंगछटा असणाऱ्या काचेच्या नेमक्या याच गुणधर्मावर आधारलेला असतो. अशा रंगीत त्रिमितीदर्शक जोडचित्रांमध्ये उजव्या व डाव्या डोळ्यांसाठी असणाऱ्या चित्रांचे **अध्यारोपण** होते. ही दोन्ही चित्रे वेगवेगळ्या रंगात असतात, एक निळ्या रंगात तर दुसरे तांबड्या रंगात.

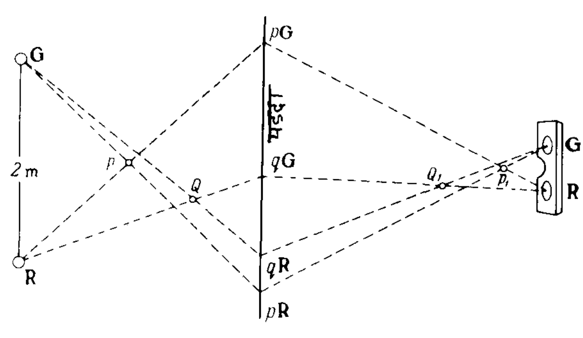
अशी रंगीत त्रिमितीदर्शक जोडचित्रे जेव्हा वेगवेगळ्या रंगछटेच्या काचेतून पाहिली जातात तेव्हा चित्र एकच दिसते व तेही काळ्या रंगात. तांबड्या काचेतून उजवा डोळा, फक्त त्यानेच पहावयाची **निळी** प्रतिमा पाहतो व विशेष म्हणजे ती काळ्या रंगात दिसते. याचवेळी निळ्या काचेतून डावा डोळा, फक्त त्यानेच पहावयाचा **तांबड्या** रंगातील प्रतिमा पाहतो काळ्याच

रंगात. प्रत्येक डोळा स्वत:साठी असणारीच प्रतिमा पाहतो. हा यथार्थदर्शकाचाच प्रकार झाला आणि त्याचा एकमेव परिणाम म्हणजे खोलीचा आभास.

नवलपूर्ण छाया

एकेकाळी चित्रपटगृहात छायांचा जो नवलपूर्ण ––आणि भीतीही उत्पन्न करणारा––जो खेळ दाखविण्यात येत असे तो वर सांगितलेल्या तत्त्वावरच आधारलेला असे. पडद्यावर उमटणाऱ्या हालत्या वस्तूंच्या छाया, प्रेक्षकाने भिन्नरंगी काचेतून पाहिल्यास त्यास त्या त्रिमिती स्वरूपात दिसत. हा भास द्विरंगी यथार्थदर्शनमार्गे निर्माण केला जाई. पडदा आणि त्याच्या बाजूस ठेवलेल्या दोन दिव्यांमध्ये वस्तू ठेवण्यात येई. एक दिवा तांबडा व दुसरा दिवा निळा प्रकाश देणारा असल्यामुळे अर्धवट अध्यारोपण झालेल्या व रंगीत अशा दोन छाया पडद्यावर पडतात. त्यांच्या रंगाशी जुळत्या साधनातून प्रेक्षक त्या पाहत असत.

अशा प्रकारे जो यथार्थदर्शी भास निर्माण होतो तो मोठा मनोरंजक असतो. वस्तू जणुकाही आपल्या दिशेने येत आहेत, किंवा एखादा राक्षसी कोळी आपल्यावर चाल करून येत आहे असे वाटून आपला उगाचच थरकाप होतो. हा परिणाम साधण्यासाठी जी रचना करावी लागते ती फारच साधीसोपी असते. आ. १३४ वरून याची कल्पना येईल. हिरवा आणि तांबडा दिवा अनुक्रमे G व R या अक्षरांनी दर्शविले आहेत (डावीकडे); दिवे व पडदा यामध्ये ठेवलेल्या वस्तूंना P आणि Q म्हटले आहे. या वस्तूंच्या पडद्यावरील रंगछटायुक्त छाया pG, qG, pR आणि qR ही अक्षरे दाखवितात. भिन्न रंगछटांच्या काचांतून–– G म्हणजे हिरवी काच व R म्हणजे लालरंगी काच (उजवीकडच्या)––पाहणाऱ्या प्रेक्षकास छाया ज्या ठिकाणी दिसतात त्या



आ. १३४ "अद्‌भूत छाये"चा खुलासा.

जागा P_1 आणि Q_1 ने दर्शविल्या आहेत. पडद्यामागचा "कोळी" Q पासून P पाशी स्थानांतर करतो तेव्हा प्रेक्षकांस वाटते की तो Q_1 कडून P_1 कडे म्हणजे आपल्याच दिशेने चालून येत आहे.

सामान्यत: जेव्हा जेव्हा वस्तू दिव्यानजिक सरकविली जाते त्या त्या वेळी छायेचा आकार वाढत जातो आणि पाहणाऱ्यास वस्तू पडद्याकडून आपल्याकडेच येत आहे असेच भासते.

एखादी वस्तू आपल्याच दिशेने येत आहे असे प्रेक्षकास जेव्हा वाटते तेव्हा वस्तू वास्तविक पडद्यामागे विरुद्ध दिशेने आणि पडद्याकडून दिव्याकडे हालविली जात असते.

जादुमय रूपांतरण

या ठिकाणी लेनिनग्रादच्या करमणूक –उद्यानात असलेल्या "मनोरंजक विज्ञान-प्रदर्शना"तील प्रयोगाची माहिती देणे उचित ठरेल. प्रदर्शनातील दालनाचा एक कोपरा बैठकीच्या खोलीप्रमाणे सुशोभित करण्यात आला होता. त्यातील लाकडी वस्तूंवर गडद नारिंगी आच्छादन होते; टेबलावर हिरव्या रंगाचे जाडेभरडे लोकरी कापड पसरले होते; त्यावरील पात्रात क्रॅनबेरी नामक लाल फळांचा रस भरला होता. शेजारीच फुलांनी भरलेली फुलदाणी ठेवली होती. पुस्तकांनी भरलेले फडताळही त्या ठिकाणी होते व पुस्तकांवर त्यांच्या नावांची रंगीबेरंगी अक्षरे दिसत होती.

प्रेक्षकांना प्रथम साध्या विद्युत्‌पदीपाने उजळलेली खोली पहावयास मिळे. जेव्हा साधा विद्युत्‌दीप विझून **तांबडा** दिवा लागे तेव्हा नारिंगी आच्छादने गुलाबी बनत आणि टेबलावरील हिरवे कापड गडद जांभळ्या रंगात दिसू लागे. याचवेळी क्रॅनबेरी रसाचा रंग नाहीसा होऊन तो पाण्यासारखा दिसू लागे. फुलदाणीतील फुलांचे रंग बदलून ती वेगळीच दिसू लागत. तसेच पुस्तकांवरील काही रंगीत नावे दिसेनाशी होत. बटनांची पुन्हा उघडझाप करताच सर्वत्र **हिरवा** प्रकाश पसरे आणि ती खोली पुन्हा न ओळखता येण्या-एवढी बदलून जात असे.

हे जादूमय रूपांतरण, न्यूटनची रंगविषयक विचारप्रणाली फार परि-णामकारकरीत्या उलगडते. त्यातील मुख्य विचार हा की पृष्ठभाग ज्या रंगाचे किरण विखुरतात त्या रंगाचा दिसतो, जो शोषून घेतात त्या रंगाचा नव्हे. न्यूटनचाच देशबांधव व प्रसिद्ध इंग्रज भौतिकशास्त्रज्ञ जॉन टिंडल यानी यासं-बंधी पुढील विचार मांडला आहे.

"जेव्हा आपण वस्तूंना श्वेतवर्णीय प्रकाशाने प्रकाशित करतो तेव्हा लाल रंग हिरव्या रंगाच्या अवशोषणाद्वारे निर्माण होतो तर हिरवा रंग लाल रंगाच्या किरणांच्या अवशोषणाद्वारे. इतर रंग दोन्ही स्थितीमध्ये प्रकट होतात.

याचा अर्थ असा की वस्तू नकारात्मक स्वरूपात रंग ग्रहण करतात. रंगित बनणे हा किरणांच्या होणाऱ्या भरीचा नसून बहिष्करणाचा परिणाम आहे."

यानुसार, शुभ्र प्रकाशात टेबलावरील हिरवे आच्छादन हिरवेच दिसते कारण ते प्रामुख्याने हिरव्या रंगाचे व त्याच्या नजिकच्या रंगाचे विसरण करते आणि बहुतेक सारे किरण शोषून घेते या हिरव्या आच्छादनावर जर आपण तांबडा-पिवळा असा मिश्रप्रकाश टाकला तर ते फक्त जांभळ्या रंगाचे विसरण करेल आणि बहुतेक सारा तांबडा रंग शोषून घेईल. परिणामी आच्छादन जांभळ्या रंगाचे दिसेल. त्या "बैठकीच्या खोली"तील रंगविषयक इतर सर्व रूपांतरणाचे हे प्रमुख स्पष्टीकरण आहे.

तथापि, तांबडा रंग त्या क्रॅनबेरीचे रसावर पडतात ते रंगहीन का व्हावे? कारण ते पात्र हिरव्या रंगाच्या लोकरी वस्त्रावरून जाणाऱ्या पांढऱ्या पट्ट्यावर उभे होते. जर तो पांढरा पट्टा दूर केला की लगेच रसाला तांबडा रंग प्राप्त होईल. तांबड्या प्रकाशात रस आपला रंग गमावतो तो केवळ पांढऱ्या पट्ट्याच्या पार्श्वभूमीमुळे. खुद्द पट्टा तांबड्या रंगाचा होत असला तरी सवयीच्या वर्चस्वामुळे आणि जांभळ्या आच्छादनास त्याची विरोधी जोड मिळत असल्यामुळे आपण तो **पट्टा पांढराच आहे असे समजतो.** रसाचा रंग पट्ट्याप्रणेच म्हणजे पांढराच असल्याची कल्पना केल्यामुळे आपण न कळत रसही पांढराच असल्याचे समजतो. म्हणूनच तो इतःपर तांबड्या रंगाचा न दिसता पाण्यासारखा रंगहीन दिसतो. एखाद्या रंगीत काचेतून पाहता, सभोवतालच्या परिसरामध्ये आपणाला असेच परिणाम अनुभविता येतील.

पुस्तकाची उंची

आपल्या मित्राच्या हाती एखादे पुस्तक देऊन त्याला विचारा की पुस्तक भिंतीशी उभे केल्यास त्याची उंची किती भरेल. त्याने उत्तर देताच (दुरूनच व अंदाजाने), ते पुस्तक घेऊन भिंतीशी उभे करा व उत्तर पडताळून पहा. आपणाला असे आढळून येईल की त्याने दर्शविलेल्या उंचीच्या जेमतेम निम्म्यापर्यंतच पुस्तकाची उंची पोहोचते.

दृष्टीच्या पातळीत ज्या वस्तू पाहण्याची सवय झाली आहे अशा कोणत्याही वस्तूबाबत–उदा. टेबलावरील दिवा, टोपी, इ.– याप्रमाणे प्रयोग करून पहा. लोकांची चूक होते याचे कारण हे की वस्तू जेव्हा कडेने (उंचीच्या दिशेने) पाहिली जाते तेव्हा तिचा आकार कमी भरतो.

मनोऱ्यातील घड्याळाचा आकार.

जेव्हा डोक्यापेक्षा अधिक उंचीवर असणाऱ्या वस्तूंच्या आकाराबाबत आपण अंदाज करतो तेव्हाही अशीच चूक होते, विशेषतः मनोऱ्यातील घड्या-



आ. १३५ वेस्टमिन्स्टर मनोऱ्यातील
घड्याळाचा आकार.

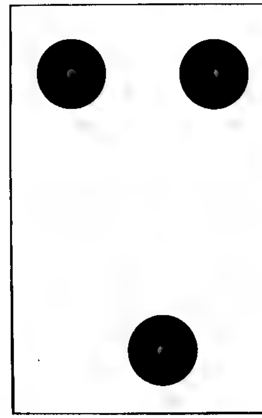
ळांबाबत ती प्रकर्षाने जाणवते. आपणास नक्की ठाऊक असते की ही घड्याळे भल्यामोठ्या आकाराची असतात पण आपला अंदाज मात्र प्रत्यक्ष आकाराचे मानाने कितीतरी कमी भरते. आ. १३५ मध्ये लंडन येथील सुप्रसिद्ध वेस्ट-मिन्स्टर मनोऱ्यातील घड्याळाची तबकडी केवढी मोठी आहे याची कल्पना येण्यासाठी ती रस्त्यावर ठेवलेली दिसत आहे. तीपुढे माणूस एखाद्या बाहुली-प्रमाणे दिसतो. तथापि, विश्वास ठेवा अगर ठेऊ नका, दूरवर दिसणाऱ्या मनोऱ्यातील गोलाकार जागेत ती अगदी व्यवस्थितपणे बसणारी आहे.

काळे आणि पांढरे

आ. १३६ कडे दूरवरून पहा आणि खालचा ठिपका व वरच्यापैकी कोणताही एक ठिपका यांच्या दरम्यानच्या जागेत किती काळे ठिपके (त्याच आकाराचे) मावतील ते सांगा. तुमच्या उत्तराची मला कल्पना आहे व ते असे: "पाच ठिपके मावण्याएवढी तर जागा नक्कीच नाही. पण चार ठिपके नक्कीच बसतील."

विश्वास ठेवा अगर ठेवू नका, फार तर मोजून खात्री करा की तीन ठिपके मावण्याएवढीच जागा आहे, जास्त नाही की कमी नाही. काळे ठिपके

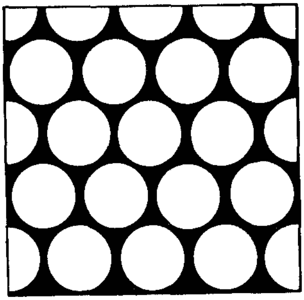
आ. १३६
तळाकडील ठिपका आणि वरील दोन ठिपक्यांपैकी प्रत्येकी एक ठिपका, यातील अंतर, वरील दोन ठिपक्यांच्या बाह्य कडांतील अंतरापेक्षा अधिक वाटते. खरे पाहता तसा फरक मुळीसुद्धा नाही !



तेवढयाच आकाराच्या पांढऱ्या ठिपक्यांच्या मानाने लहान दिसणे या प्रकारास किरणीयन अथवा उज्ज्वलन असे म्हटले जाते. डोळयाच्या अपूर्णतेमुळे असे घडते, कारण प्रकाशीय उपकरणांचा काटेकोरपणा व परिपूर्णता त्यामध्ये नसते. कॅमेऱ्यात उत्तम केन्द्रीकरण साधल्यानंतर त्याच्या पाठीमागच्या काचेवर अगदी कोरीव अशा बाह्य रेषांमध्ये प्रतिमा उमटते. तसा प्रकार डोळयातील प्रणमनशील माध्यमामार्फत दृक्पटलावर उमटत नाही. **गोलीय विपथनामुळे** प्रत्येक ठिपक्याभोवती प्रकाश-वलय निर्माण होते व त्यामुळे दृक्पटलावरील प्रतिमेचा आकार वाढविला जातो. म्हणूनच समान आकाराच्या काळयापांढऱ्या ठिपक्यांपैकी पांढरे ठिपके (किंवा पांढरे क्षेत्रफळ) काळया ठिपक्यापेक्षा नेहमीच मोठे भासतात.

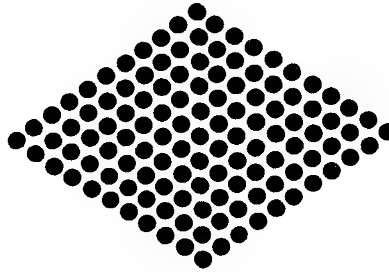
महान कवी ग्योटे हा निसर्गाचा जरी काटेकोर निरीक्षक होता तरी तो मोठा विचारी भौतिकशास्त्रज्ञ होता असे मात्र म्हणता येणार नाही. आपल्या **"रंगमीमांसा"** या ग्रंथात वरील आविष्काराबाबत तो लिहितो :

"उजळ वस्तूपेक्षा त्याच आकारातील गडदरंगी वस्तू लहान दिसते. आपण जर एकाच वेळी काळया पार्श्वभूमीवरील पांढरा ठिपका व पांढऱ्या पार्श्वभूमीवरील तितक्याच व्यासाचा काळा ठिपका पाहिला तर काळा ठिपका पांढऱ्या ठिपक्यापेक्षा एक-पंचमांश लहान भासतो. काळा ठिपका एक-पंचमांश मोठा केला तर मात्र दोन्ही ठिपके समान दिसतील. बीजेची चंद्रकोर ज्या



आ. १३७

दूर अंतरावरून गोलाकार पांढरे ठिपके सहा कोनांचे वाटतात.



आ. १३८ दूर अंतरावरून काळे ठिपके षटकोनी वाटतात.

वर्तुळाचा भाग असते, त्याचा व्यास अप्रकाशित भागाच्या व्यासापेक्षा मोठा वाटतो. (पृथ्वीवरून परावर्तित झालेल्या प्रकाशाचे पुन्हा चंद्रावरून परावर्तन होते. यामुळे चंद्रकोरीव्यतिरिक्त भाग अस्पष्टसा का होईना पण दिसू शकतो; नवीन चंद्राने जणूकाही अदृश्य चंद्रास घट्ट मिठी मारल्याप्रमाणे!—या. पे.) काळ्या पोशाखात आपण जेवढे सडपातळ दिसतो तेवढे इतर रंगीत पोशाखात दिसत नाही. एखाद्या वस्तूच्या कडेने येणाऱ्या प्रकाशामुळे तेथे खाच निर्माण झाल्याचे दिसते. पट्टीच्या आडून जर मेणबत्तीची ज्योत पाहिली तर त्या बिंदूपाशी खाच दिसते. उगवता व मावळता सूर्य क्षितिजामध्ये "खड्डा" निर्माण करतो."

ग्योटेचा प्रत्येक मुद्दा बरोबर आहे, पण काळ्या ठिपक्यापेक्षा तेवढ्याच आकाराचा पांढरा ठिपका ठराविक अंशाने नेहमीच मोठा दिसत नाही हा एवढा मात्र त्यास अपवाद आहे. ठिपके किती अंतरावरून पाहता यावर ते सर्वस्वी अवलंबून आहे आ. १३६ आणखी थोडी दूरवर धरा. होणारा भास आणखी प्रकर्षाने जाणवेल. कारण ज्या जादा वलयाचा वर उल्लेख केला आहे ते नेहमीच एकाच रुंदीचे असते. आकृती जवळ आणा. वलयामुळे पांढरे क्षेत्रफळ १० टक्क्यानी वाढविले जाईल. दूर न्या. वलय पांढऱ्या क्षेत्रफळातील ३० किंवा अगदी ५० टक्केसुद्धा जागा व्यापेल. कारण ठिपक्याची प्रत्यक्ष प्रतिमा अगोदरच लहान झालेली असते. यावरून ध्यानात येईल की आ.१३७ मधील पांढरे ठिपके दोनतीन पावलांवरून पाहिले असता षट्कोनी का दिसतात. ६ ते ८ पावलांवरून पाहिल्यास ही आकृती म्हणजे मधाचे पोळेच वाटेल.

तथापि, दूरवरून पांढऱ्या पार्श्वभूमीवरील **काळे** ठिपकेही षट्कोनी आकारात जेव्हा मी पाहिले तेव्हापासून असे भासण्यामागे केवळ किरणीयन कारणीभूत असते हे स्पष्टीकरण मला पूर्णतया समाधानकारक वाटत नाही. किरणीयनाने ठिपक्यांचा आकार न वाढता उलट कमी होत असला तरी माझे वरील मत कायम आहे. एवढे मात्र प्रत्येकाने लक्षात ठेवले पाहिजे की अशा प्रकाशीय आभासाचे जे स्पष्टीकरण केले जाते ते पूर्णतया समाधानकारक नसतेच.

अधिक काळे अक्षर कोणते ?

आ. १३९ मुळे डोळयांची आणखी एक अपरिपूर्णता पहावयास मिळते व तीस "दृष्टिवैषम्य" असे म्हटले जाते. आकृतीकडे एका डोळयाने पहा. चारही अक्षरे काळेपणात एकसारखी दिसणार नाहीत. त्यापैकी अत्याधिक काळे कोणते याची नोंद करा. आणि आकृती एका बाजूने फिरवा. जे अक्षर आपण काळेभोर समजला होता ते एकाएकी राखी रंगाचे दिसेल आणि वेगळेच अक्षर काळेभोर दिसेल. खरे तर सारी अक्षरे एकसारखी काळी आहेत. केवळ वेगवेगळया दिशांनी ती रेषांकित केली आहेत. अत्यंत महागडया पण दोष-विरहित अशा काचेच्या भिंगाप्रमाणे आपले डोळे असते तर या रेषांच्या वेग-वेगळया दिशांमुळे अक्षरांच्या काळेपणावर कोणताच परिणाम झाला नसता. तथापि, आपल्या डोळयांमार्फत जे वक्रीभवन होते ते वेगवेगळया दिशानी एकसारखे नसल्यामुळे उभ्या, आडव्या आणि तिरक्या रेषा एकसारख्या प्रमा-णात सुस्पष्ट दिसत नाहीत.

अशा उणीवांपासून डोळा अगदी पूर्णतया मुक्त क्वचितच असतो. काही लोकांच्या बाबतीत हे **दृष्टिवैषम्य** एवढया मोठया प्रमाणात असते की त्यामुळे दृष्टीची पाहण्याची शक्ती फारच कमी होते आणि ती सुधारण्यासाठी खास प्रकारचे चष्मे लावण्याची आवश्यकता पडते. डोळयांमध्ये इतरही उणीवा व



आ. १३९ या शब्दाकडे एका डोळ्याने पहा. त्यापैकी एक अक्षर इतरांपेक्षा अधिक काळे वाटेल.

त्या कशा सुधाराव्यात ते चष्म्याच्या तज्ज्ञांना चांगले ठाऊक असते. या संबंधी हेल्महोल्ट्झ लिहितो :

"चष्म्याच्या कोणी तज्ज्ञाने अशा उणीवा असणारे उपकरण जर माझ्या गळयात बांधले तर मी त्याची एवढी खरडपट्टी काढेन की तो कधीच विसरणार नाही. ते उपकरण तर मी मोठया निषेधाने त्याच्या अंगावर फेकून देईन.."

इतरही काही प्रकारांबाबत डोळयांना संपूर्ण शरणागती पत्करावी लागते खरी, पण त्यामागील कारणे मात्र खूपच वेगळी असतात.

सजीव चित्रे

आपल्यापैकी अनेकांनी व्यक्तिचित्राचा एक खास प्रकार बहुदा पाहिलाच असेल. अशा चित्रातील व्यक्ती आपल्याकडे केवळ रोखून बघणारीच नसते तर आपण जेथे जेथे जातो तेथे तेथे आपला जणू पाठलाग करणारी भासते. हा प्रकार फार पूर्वीच ध्यानात आलेला होता. त्यामुळे कित्येकजण गोंधळात पडले होते. आपल्या "व्यक्तिचित्र" या कथेत निकलाई गोगल या सुप्रसिद्ध रशियन लेखकाने या प्रकाराचे मोठे सुंदर वर्णन केले आहे.

"डोळे त्याच्या चेहऱ्यावर खिळून राहिले आणि जणूकाही त्याच्या-व्यतिरिक्त इतर काहीही पाहण्याची त्याची इच्छाच नव्हती... सर्वकाही सोडून ते व्यक्तिचित्र केवळ त्याच्याकडेच रोखून पाहत होते. असे वाटत होते की ते डोळे त्याच्या दृष्टीतच अडकून पडले आहेत..."

अशा गूढ नजरेबाबत अनेक दंतकथा आणि भ्रामक समजुती प्रचलित झाल्या होत्या. खरे पाहता प्रकाशीय आभासाखेरीज त्यामागे दुसरे कोणतेच कारण नाही. त्यामागील गुपित हे की डोळयातील बाहुली बरोबर डोळयाच्या

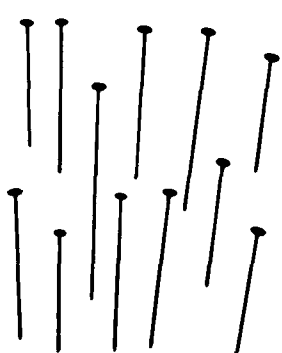


आ. १४० गूढ व्यक्तिचित्र.

मध्यभागी दाखविलेली असते. जेव्हा आपणाकडे एखादी व्यक्ती एकटक पाहत असते तेव्हा तिच्या डोळ्यात ती आपणास जशी दिसेल तशीच चित्रात काढली असते. जेव्हा व्यक्ती इतरत्र पाहू लागते तेव्हा बाहुली आणि संपूर्ण कननिका (डोळा) मध्यभागी न राहता बाजूस सरकतात. व्यक्तिचित्राचे बाबतीत मात्र, आपण हाललो तरी बाहुलीची जागा बदलत नाही. तीच गोष्ट चेहऱ्याची. पण आपणास मात्र वाटते की चित्रातील व्यक्तीने आपल्याकडे नजर वळविली असून त्याचे डोळे सतत आपला पाठलाग करीत आहेत! अशाच प्रकारच्या इतर चित्रांमुळे चमत्कारिक संवेदना का होतात याचे कारण आता स्पष्ट होईल. चित्रातील घोडा जणू आपल्या अंगावर धाऊन येत आहे असे एखाद्या चित्रामुळे वाटेल तर दुसऱ्या चित्रातील व्यक्ती, "तू, तूच तो" म्हणून बोट रोखून आहे असे भासेल. आ. १४० मध्ये असा एक चित्रप्रकार दाखविला आहे. अशा प्रकारची व्यक्तिचित्रे प्रचारसाहित्यात किंवा जाहिरातीत वापरली जातात.

आणखी काही प्रकाशीय आभास.

आ. १४१ मध्ये टाचण्यांचा जो समूह दाखविला आहे त्यात सकृत-दर्शनी काही खास असे वाटत नाही. तसे काही विशेष त्यामध्ये आहे का? पुस्तक डोळ्याच्या पातळीपर्यंत उचला आणि एक डोळा झाकून दृष्टी टाच-ण्यांवरून घसरत येत असल्याप्रमाणे पहा. टाचण्या कल्पनेने वाढवीत गेल्यास ज्या बिंदूपाशी मिळतील तेथे आपला डोळा हवा. मग कागदात टाचण्या अगदी उभ्या रोवल्या आहेत असेच वाटेल. ज्या बाजूस आपण डोके हालवू, त्या बाजूस टाचण्या झुकत आहेत असा भास होईल.



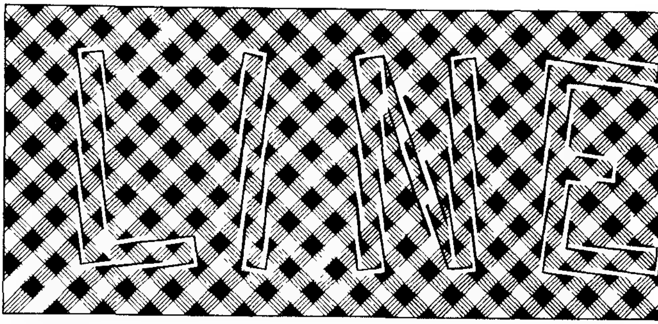
आ. १४१
एक डोळा मिटून, दुसरा डोळा, साऱ्या टाचण्या लांबवत गेल्यास ज्या काल्पनिक बिंदूत मिळतील, त्यावर स्थिर करा. मग टाचण्या कागदास सरळ उभ्या टोचल्या आहेत असे वाटेल. पुस्तक हलकेच एका बाजूकडून दुसऱ्या बाजूस हल-विल्यास टाचण्या झुकत असल्याचा आभास जाणवेल.

हा भास यथार्थदर्शनाच्या नियमानुसार होतो. उभ्या टाचण्यांचे कागदावर प्रक्षेपण केले असता निरीक्षकास विशिष्ट बिंदूपासून ते जसे दिसेल तसे चित्र या आकृतीत काढले आहे.

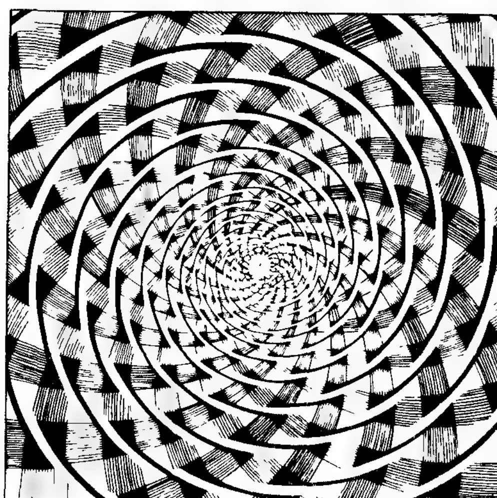
अशा भासमय परिणामापुढे आपल्या डोळयांचा नाईलाज होतो व ते सहजगत्या फसतात. पण हा दोष, केवळ दोष आहे असे समजू नये. कारण काही बाबतीत ते वरदानही आहे. हे आपल्या सहजासहजी ध्यानात येत नाही. पण ही अपूर्णता जर नसती तर चित्रे काढण्याची कला अस्तित्वातच आली नसती. शिवाय त्यापासून मिळणाऱ्या आनंदासही मुकलो असतो. चित्रकाराचे कौशल्य व सामर्थ्य या अपरिपूर्णतेवरच अवलंबून असते.

"चित्रकलेची सारी मदार तर अशा आभासांवरच अवलंबून आहे," अठराव्या शतकातील एईलर या अत्यंत बुद्धिमान शास्त्रज्ञ आपल्या" **"विविध भौतिकशास्त्रीय घटनांसंबंधी पत्रे"** या प्रसिद्ध पुस्तकात म्हणतो, "वस्तू जशा आहेत तशाच आपण पाहू लागलो तर ही कला (अर्थात चित्रकला) केव्हाच लोप पावेल, तिच्या दृष्टीने आपण आंधळेच ठरू. रंगसंगतीतून जग दाखविण्याचा चित्रकाराचा सारा प्रयत्न मग व्यर्थ ठरेल. आपण केवळ असेच म्हणू की इथे लाल तर तिथे निळा आणि इकडे काळा तर तिकडे पांढरा रंग दिसत आहे. सारे काही एकाच पातळीत असेल. खोलीचा, अंतराचा फरकच कळणार नाही आणि वस्तू चित्रित करता येणार नाही. चित्रकारास जे काही दाखवावयाचे असेल ते सारे कागदावरील शब्दांप्रमाणे दिसेल. डोळयांमध्ये अशी परिपूर्णता आली तर अशा मनोरम आणि उपयुक्त कलेमुळे जो नित्य आनंद मिळतो त्यास आपण वंचित नाही का होणार?"

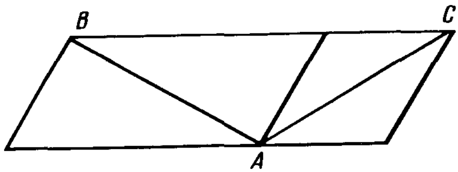
असे मायावी प्रकार इतके आहेत की त्यातून एक संग्रह सहज निर्माण होईल. त्यापैकी काही चांगले परिचित असतात तर काही मुळीच माहीत नसतात. या ठिकाणी फारसे माहीत नसलेले आणि कुतूहलजनक असे काही प्रकार मी देत आहे. आ. १४२ व १४३ मध्ये चौकटीच्या पार्श्वभूमीवर काढलेल्या रेषा जो आभास निर्माण करतात तो विशेष परिणामकारक ठरतो. आ. १४२ मध्ये जी अक्षरे वेडीवाकडी दिसतात ती खरोखरीच सरळ उभी आहेत, पण हे पटणे शक्य नाही. आ. १४३ मध्ये खऱ्याखुऱ्या वर्तुळातून सर्पिल आकृती तयार झाली आहे खरी, पण प्रत्यक्षात वर्तुळेच आहेत हे पटणे फार अवघड जाईल. त्यातील कोणत्याही रेषेवर पेन्सिल फिरवून खात्री करा. आ. १४४ मध्ये दिसणाऱ्या AB व AC या रेषा कमीजास्त लांबीच्या आहेत ना? त्या तशा नसून सारख्याच लांबीच्या आहेत हे पट्टीने त्यांचे मोजमाप केल्यावरच कळेल आ. १४५, १४६, १४७, व १४८ यातील उदाहरणाचे



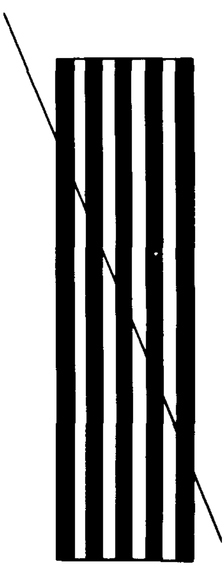
आ. १४२ खरे तर अक्षरे अगदी सरळ उभी आहेत.



आ. १४३ ही मळसूत्री रचना वाटते, नाही? प्रत्यक्षात ह्या वक्र रेषा म्हणजे वर्तुळे आहेत. एका वक्र रेषेवरून पेन्सिलीचे टोक फिरवून पहा, म्हणजे खात्री होईल.

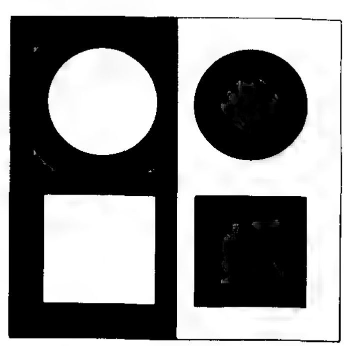


आ. १४४ AB ही रेषा AC एवढीच आहे,
पण AB रेषा अधिक लांबीची वाटते.



आ. १४५

तिरकी रेषा तुटक वाटते.

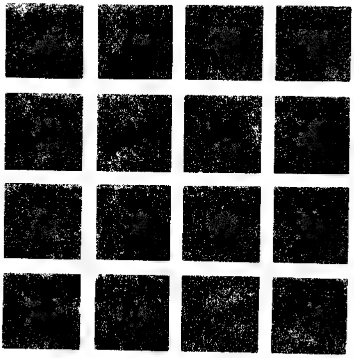


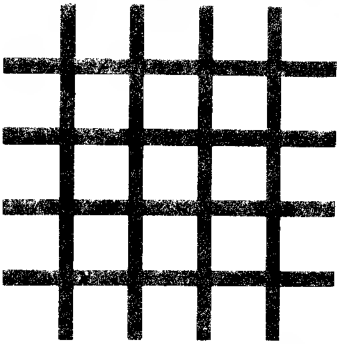
आ. १४६

जसे काळा आणि पांढरा गोल एकसमान आहेत तसेच काळा व पांढरा चौकोनही अगदी एकसारखेच आहेस.

आ. १४७

जिथे पांढऱ्या पट्ट्या एकमेकांना छेदतात तिथे राखी रंगाचे चौकोन दिसतात, नाहीसे होतात. खरे पाहता, पांढऱ्या पट्ट्या शेवटपर्यंत सर्वत्र पांढऱ्याच आहेत. काळे चौकोन कागदाने झाकले तर हे लगेच लक्षात येईल. वरील भास केवळ काळ्या-पांढऱ्यातील विरोधामुळे होतो.





आ. १४८

जेथे काळ्या पट्ट्या एकमेकांना छेदतात, त्या ठिकाणी फिकट राखी रंगातील चौकोन दिसतात, नाहीसे होतात.

स्पष्टीकरण त्यांच्या शीर्षकातच केलेले आहे. एका मजेदार अनुभवामुळे आ. १४७ मधला भास किती प्रभावी आहे हे पटते. या पुस्तकाची आधीची आवृत्ती प्रकाशक तपासत होते व त्यांना आ. १४७ चे मुद्रण नीट झाले नाही असे वाटले. तीमध्ये पांढऱ्या पट्ट्यांच्या छेदभागी राखी रंगाचे जे डाग पडले आहेत त्यासाठी ठसे साफ करून पुन्हा छपाई करावी यासाठी ते मुद्रिते परत करण्याच्या बेतात होते. कर्मधर्मसंयोगाने त्याच वेळी त्यांची व माझी गाठ पडली व खरा प्रकार काय आहे ते मी त्यांना समजावून सांगितले.

ऱ्हस्व दृष्टी असणाऱ्यास दिसणारे जग

आपला चष्मा काढल्यावर ऱ्हस्व दृष्टीच्या व्यक्तीस नीट दिसत नाही. तो काय पाहतो, कसे पाहतो या संबंधी सर्वसाधारण दृष्टी असणाऱ्या

1/2 14-0867

लोकांच्या कल्पना फार विचित्र असतात. अनेकजण ऱ्हस्व दृष्टीचे असल्यामुळे ते कसे पाहतात हे जाणणे मनोरंजक ठरेल.

प्रथमतः अशा व्यक्तींना सारेच काही अंधूक, अस्पष्ट दिसते. इतरांना झाडाची पाने, उन्हाळ्या आकाशाच्या पार्श्वभूमीवर अगदी कोरीव व स्पष्ट दिसतात तर ऱ्हस्व दृष्टीच्या व्यक्तीस हिरव्या रंगाचा वेडावाकडा गुंता दिसतो. त्यातील बारकावे तर केव्हाच लुप्त झालेले असतात. त्यांना माणसाचे चेहरे लहान व तरुण दिसतात व ते जादा आकर्षकही वाटतात. कावळ्याचे पाय मुळीच दिसत नाहीत व असे बारीक भाग त्यांच्या हिशेबीही नसतात. निसर्गातील किंवा कृत्रिम, ओबडधोबड तांबूस, गुलाबी रंग त्यांना नाजुक, कोमल वाटतो आणि वयाबाबतचा अंदाज तर अगदी वीस वर्षांनी चुकतो. ऱ्हस्व दृष्टीच्या माणसांच्या सौंदर्यविषयक कल्पनाही विचित्रच म्हटल्या पाहिजेत. एखाद्या व्यक्तीकडे तो सरळसरळ पाहत असला तरी त्यास तो ओळखू शकत नाही. यामुळे तो व्यवहारशून्य समजला जातो. तथापि दोष त्याचा नसून त्याच्या नशिबी आलेल्या ऱ्हस्व दृष्टीचा असतो.

१९ व्या शतकातील देलविग हा रशियन कवी लिहितो, "लायसीयममध्ये मला चष्मा वापरण्यास बंदी केली गेली आणि मग माझ्या परिचयाच्या स्त्रिया म्हणजे वैचीत्र्यपूर्ण प्राणी ठरले. माझा शिक्षणक्रम संपताच (हे घडल्यामुळे) मला केवढा धक्का बसला!!" एखादा ऱ्हस्व दृष्टीचा मित्र, चष्मा न लावता जेव्हा आपल्याशी गप्पा मारीत बसतो तेव्हा आपला चेहरा त्यास दिसत नसतो किंवा, आपल्या मते तो जे काही पाहत असतो ते त्यास दिसतच नसते. आपले प्रतिबिंब त्यास धूसर दिसते. अशा परिस्थितीत, एका तासाने आपल्याशी त्याची गाठ पडली आणि जर त्याने आपल्याला ओळखले नाही तर नवल वाटू नये. कित्येक लोक ऱ्हस्व दृष्टीचे असूनही इतरांना ओळखतात ते त्यांच्या स्वरूपावरून नव्हे तर त्यांच्या आवाजावरून. दृष्टीतील कमतरता अशा प्रकारे तीक्ष्ण कानांनी भरून काढतात.

रात्रीच्या वेळी ऱ्हस्व दृष्टीचे लोक काय पाहतात ते जाणून घ्यावयाचे आहे का? इतर सर्व प्रकाशित वस्तूंना–रस्त्यातील दिवे, दुकानातील दिवे, प्रकाशित खिडक्या इ.–भलताच मोठा आकार प्राप्त होतो आणि प्रकाशित पण आकारविरहित डाग आणि कृष्णवर्णी धूसर छाया यांचा सभोवतालच्या जगात एकच गोंधळ माजतो. रस्त्यावरील दिव्यांच्या रांगेच्या स्थानी दोन किंवा तीन मोठाले प्रकाशमय डाग दिसतात व त्यांच्यामागे रस्ता झाकून जातो. जवळ येणारी मोटार तो ओळखू शकत नाही; त्याऐवजी दोन प्रकाशित गोळे व त्यामागे काळपट धूड येत असल्याचा भास होतो. रात्रीचे

आकाशही वेगळे भासते. हजारो ताऱ्यांऐवजी चार दोन ठळक तारेच काय ते दिसतात व ते सुद्धा धूसर दिव्यांप्रमाणे. चंद्र फार मोठा व नजिक भासतो आणि चंद्रकोर तर फारच चमत्कारिक आकार घेते.

सारा दोष डोळ्यांच्या संरचनेत असतो. डोळ्यांचा खोलगटपणा खूपच वाढलेला असतो, एवढा की दूरवरच्या वस्तूंची प्रतिमा– वक्रीभवनक्षमतेत बदल झाल्यामुळे; दृक्पटलाच्या अलिकडेच केन्द्रीभूत होते. दृक्पटलापर्यंत पोहोचत नाही. अपसारी प्रकाशकिरणामुळे दृक्पटलावर धूसर, अस्पष्ट प्रतिमा उमटते.

प्रकरण १० वे   ध्वनी आणि श्रवणशक्ती

प्रतिध्वनीचा शोध

अमेरिकन व्यंगकार मार्क ट्वेन याने एका जगावेगळ्या कामात गुंतलेल्या व्यक्तीची मोठी मजेदार गोष्ट सांगितली असून तिचा छंद काय होता— ऐकून आश्चर्यच वाटेल— तर प्रतिध्वनी गोळा करण्याचा! जिथे जिथे नैसर्गिक अथवा विशेष कारणामुळे अनेक प्रतिध्वनी निर्माण होत असत ती ती जागा खरीदण्याचा सपाटाच त्याने लावला होता.

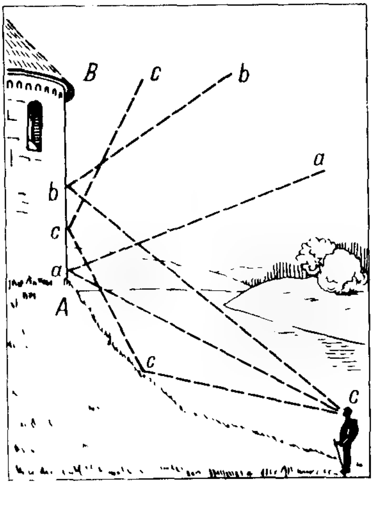
"त्याची पहिली खरेदी जॉर्जियात झाली व त्या जागी चार वेळा प्रतिध्वनी निर्माण होत असे. त्यानंतरची खरेदी सहा वेळा प्रतिध्वनी निर्माण करणाऱ्या अशा मेरीलँडमधल्या जागेची झाली. मेनमध्ये खरीदल्या गेलेल्या जागेत तेरा वेळा प्रतिध्वनी ऐकू येत. कान्सासमध्ये नऊ वेळा ऐकू येणाऱ्या जागेचा ताबा त्याने मिळविला. यानंतर त्याने बारा वेळा प्रतिध्वनी निघणारी जागा टेनेसीत घेतली. ती स्वस्तातच पडली कारण ज्या कड्यामुळे आवाज परावर्तित होत असे तो तुटला होता व दुरुस्तीच्या पलिकडे होता. काही पैसे खर्च केल्यास दुरुस्ती करता येईल असे त्यास वाटले. बांधकाम करून उंची वाढविल्यास आवाजाची पुनरावृत्ती दुप्पट होईल अशी त्याची समजूत होती. पण ज्या वास्तुशिल्पज्ञाने ते काम हाती घेतले त्यास प्रतिध्विनीसाठी उपयुक्त ठरणाऱ्या बांधकामाचा काहीच अनुभव नव्हता आणि त्याने साराच मामला कमालीचा बिघडवून टाकला. एखाद्या मुक्या-बहिऱ्यांच्या रुग्णालयासाठीच ती जागा आता उपयोगी पडणार होती."

यातील विनोदाचा भाग सोडल्यास काही जागा – विशेषत: डोंगराळ भागात – खरोखरीच अनेक प्रतिध्वनी निर्माण करणाऱ्या असून त्यापैकी काही जगभर प्रसिद्ध आहेत. उदाहरणार्थ, इंग्लंडमधील वुडस्टॉक किल्ल्यामुळे सतरा अक्षरांचा प्रतिध्वनी स्वच्छ ऐकू येतो. हॅल्बर्टस्टाटनजिकच्या डेरेनबुर्क येथील पडझड झालेल्या किल्ल्यामध्ये (त्याची एक भिंत कोसळण्यापूर्वी) सत्तावीस अक्षरांचा प्रतिध्वनी निघत असे. चेकोस्लोव्हाकियातील आदेर्सबार्खनजिकच्या डोंगराळ गव्हरात एका विशिष्ट ठिकाणी सात अक्षरी प्रतिध्वनी तीन वेळा ऐकू येतो. पण त्या विशिष्ट जागेपासून काही पावले जरी दूर सरकलो तर बंदुकीच्या आवाजाचाही प्रतिध्वनी निर्माण होत नाही. मिलाननजिक असणाऱ्या किल्ल्यामुळे (तो पाडण्यापूर्वी) फार उत्कृष्ट प्रतिध्वनी निर्माण होत. त्यातील

एका बाजूकडील खिडकीतून गोळी झाडल्यास तो आवाज ४० ते ५० वेळा पुनरपी ऐकावयास मिळे आणि मोठ्या आवाजात उच्चारलेला शब्द तीसएक वेळा तरी ऐकू येई.

वेगळा व सुस्पष्ट असा एकच प्रतिध्वनी ऐकावयास मिळणे ही काही सोपी गोष्ट नव्हे. याबाबतीत सोव्हिएत संघातील परिस्थिती काहीशी अनुकूलच म्हटली पाहिजे. येथे विस्तीर्ण मैदाने असून त्यांच्या सभोवती जंगले, झाडी पसरलेली आहेत. या झाडाच्या आडोशामार्फत जोराने ठोकलेल्या आरोळीचा कमीअधिक सुस्पष्ट असा प्रतिध्वनी निर्माण होतो. मैदानी प्रदेशांच्या मानाने डोंगराळ भागात ऐकू येणारे प्रतिध्वनी भिन्नभिन्न स्वरूपाचे असू शकतात. पण ते क्वचितच निर्माण होतात आणि त्यांचा शोध घेणे तर फारच दुर्मिळ! याचे कारण काय? प्रथम हे ध्यानात घ्यावयास हवे की प्रतिध्वनी म्हणजे एखाद्या अडथळ्यामार्फत परावर्तित झालेल्या ध्वनिलहरींची मालिकाच असते. प्रकाश विषयक नियम ध्वनीबाबतसुद्धा काटेकोरपणे लागू पडतात. त्याचा आपाती कोन हा परावर्तित कोनाएवढाच भरतो.

कल्पना करा की एका टेकडीच्या पायथ्याशी आपण उभे आहात (आ. १४९). AB हा ध्वनी परावर्तित करणारा अडथळा असून तो आपल्यापेक्षा जास्त उंचीवर आहे. साहजिकच Ca, Cb व Cc या रेषांवर भ्रमण करणारा, ध्वनी आपल्या कानाकडे परत परावर्तित न होता aa, bb व cc या

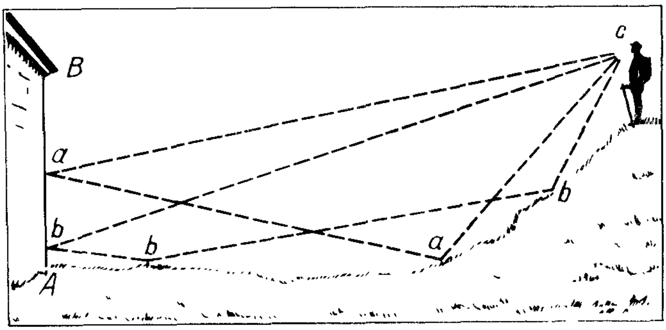


आ. १४९

या ठिकाणी प्रतिध्वनी ऐकावयास मिळणार नाही.

मार्गाने वातावरणातच नाहीसा होईल. पण जर आ. १५० प्रमाणे आपल्या उंचीएवढ्याच उंचीवर हा ध्वनिपरावर्तन करणारा अडथळा असेल किंवा किंचित कमी उंचीचा असेल तर प्रतिध्वनी ऐकावयास मिळेल. Ca व Cb या खालच्या दिशांनी ध्वनी मार्गक्रमण करेल व AB या अडथळ्यामुळे परावर्तित होऊन CaaC किंवा CbbC या तुटक रेषांच्या मार्गाने परत कानापाशी येईल. वाटेत जमीनीमार्फत तो एक किंवा दोन वेळा परावर्तित होईल. या जागा अंतर्गोल आरशाप्रमाणे काम करतात. व त्यामुळे प्रतिध्वनी आणखीनच सुस्पष्ट ऐकावयास मिळेल. C आणि B या बिंदूपाशी जमीनीस जर फुगवटा आला असेल तर प्रतिध्वनी अस्पष्ट असेल किंवा ऐकूच येणार नाही. एखादा बहिर्गोल आरसा ज्याप्रमाणे प्रकाश विखरून टाकतो तसे हे जमिनीचे फुगवटे आवाज विखरून टाकतील.

उंचसखल जमीनीवरील प्रतिध्वनी ऐकू येण्यासाठी आपणास विशिष्ट सवयच लावून घ्यावी लागेल. एवढेच नव्हे तर तो कसा निर्माण करावा हे सुद्धा शिकावे लागेल. पहिली सूचना ही की अडथळ्याच्या फार नजिक उभे राहू नका. ध्वनिलहरीमार्फत भरपूर मार्ग आक्रमिला जाणे आवश्यक आहे, नाहीतर प्रतिध्वनी खूप अगोदर निघेल आणि आपण काढलेल्या आवाजातच विरून जाईल सेकंदास ३४० मी. या वेगाने ध्वनीचे मार्गक्रमण होत असल्यामुळे ८५ मी. असणाऱ्या अडथळ्यामार्फत निघणारा प्रतिध्वनी बरोबर अर्ध्या सेकंदाने ऐकू येईल. प्रत्येक आवाजाचे प्रतिध्वनी निघणारच पण प्रत्येक



आ. १५० दूर अंतरावरून प्रतिध्वनी ऐकू येईल.

प्रतिध्वनी सुस्पष्ट असेलच असे नाही, मग ती वाघाची डरकाळी असो, तुतारी फुंकलेली असो किंवा एखाद्या मुलीचे गाणे असो. आवाज जेवढा अचानक आणि मोठा तितका प्रतिध्वनी सुस्पष्ट. हाताने वाजविलेल्या टाळ्यांचा प्रतिध्वनी उत्कृष्टरीत्या निर्माण होतो. मानवी आवाज, विशेषतः पुरुषांचा आवाज प्रतिध्वनीच्या दृष्टीने तितकासा योग्य ठरत नाही. पण स्त्रियांचा आवाज आणि मुलांचा वरच्या पट्टीतील आवाज सुस्पष्ट प्रतिध्वनी निघण्यास अनुकूल ठरतो.

ध्वनीची फूटपट्टी

हवेमधील ध्वनीचा वेग ठाऊक असल्यास दोन दुर्गम ठिकाणांमधील अंतर निश्चित करता येते. **"पृथ्वीच्या केंद्रभागाचा प्रवास"** या आपल्या पुस्तकात ज्यूल वेर्नने नेमका हाच उपयोग केला आहे. त्यात वर्णिलेल्या पृथ्वीच्या अंतर्भागातील प्रवासात प्राध्यापक व त्याच्या पुतण्याची चुकामूक होते. एकमेकास ते मोठमोठ्याने हाका मारू लागतात आणि अखेर त्या जेव्हा ऐकू आल्या तेव्हा त्यांच्यात खालीलप्रमाणे संभाषण घडले·

"काका...." मी मोठ्याने हाक मारली.

"पोरा!" काही सेकंदानंतर काकांचे उत्तर आले

"काका, आपण एकमेकांपासून किती दूर आहोत?'

"ते शोधून काढणे काही अवघड नाही."

"आपल्याकडे कालमापक आहे ना?"

"हो."

"ठीक. मग तो हातात घ्या आणि मला हाक मारा व हे बोलणे सुरू करण्याच्या क्षणाची नोंद करा. मला हाक ऐकू येताच मी जोरात इकडून उत्तर देईन आणि ते ऐकू येताच पुन्हा त्या वेळेची नोंद करा."

"ठीक आहे."

"माझ्या हाकेस उत्तर म्हणून तुझी हाक ऐकू येईल आणि या दोहोंमध्ये जो वेळ जाईल त्याच्या निम्म्या वेळात माझी हाक तुझ्यापर्यंत पोहोचली असाच त्याचा अर्थ होईल."

"अगदी बरोबर, काका."

"मी भिंतीस कान लावला आणि माझ्या कानी "ॲक्सेल" हा शब्द कानी पडताच मी लगेच "ॲक्सेल" असे म्हटले आणि वाट पाहू लागलो.

"चाळीस सेकंद, "काका म्हणाले. "म्हणजे ध्वनी वर येण्यास २० सेकंद लागले. तर मग सेकंदास १०२० फूट या वेगाने २० सेकंदात २०,४०० फूट म्हणजे आदमासे ४ मैल अंतरावर आपण आहोत."

ही गोष्ट चांगल्या प्रकारे आपल्या लक्षात आल्यानंतर पुढील प्रश्नाचे

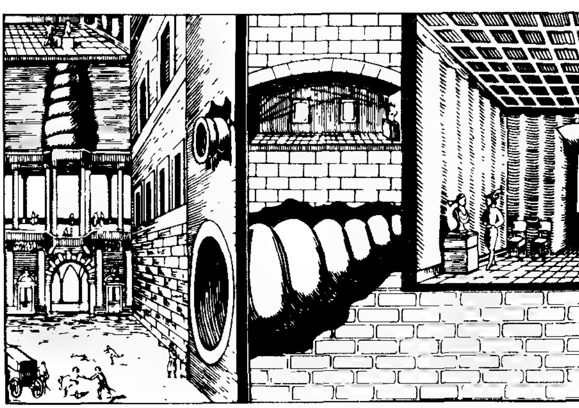
उत्तर द्या. इंजिनाच्या शिट्टीतून वाफ बाहेर पडताना दिसल्यानंतर दीड सेकंदांनी शिट्टी ऐकू आली, तर इंजिन किती दूर असेल?

ध्वनीदर्पण

उंच संरक्षक भिंत, कुंपण, इमारत, पर्वत किंवा प्रतिध्वनी निर्माण करणारा कोणताही अडथळा म्हणजे जणू **आरसेच** असतात. सपाट आरसा ज्याप्रकारे प्रकाशाचे परावर्तन करतो अगदी तसेच ध्वनीचे परावर्तन हे अडथळे करतात. दोन उथळ थाळ्यांच्या सहाय्याने पुढील बोधप्रद प्रयोग



आ. १५१ अंतर्गोल ध्वनी-आरसा.



आ. १५२ कुजबुजणारे अर्धपुतळे (अॅथनॅशियस किर्चर यांच्या पुस्तकातून, १५६०)

करून पहा. एक थाळी टेबलावर ठेऊन तीमध्ये काही सें. मी. उंचीवर घड्याळ धरा. दुसरी थाळी आ. १५१ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे कानाशी धरा. या तीनही वस्तूंच्या जागा बरोबर जुळल्या (हे काम अंजदाजानेच करावे लागेल) तर घड्याळाची टिक्‌टिक् टेबलावरील थाळीकडून कानाकडे येईल. डोळे मिटून हा प्रयोग केल्यास तो अधिकच परिणामकारक ठरेल, आणि कोणत्या हातात घड्याळ आहे व कोणत्या हातात थाळी आहे हे सांगता येणार नाही.

किल्ले व गढ्या बांधणारे मध्ययुगीन वास्तुशिल्पी ध्वनीचा अशा प्रकारे वापर पुष्कळदा करत. ध्वनीच्या अंतर्गोल आरशाच्या केंद्रस्थानी किंवा ध्वनीवाहक नळाच्या टोकाशी अर्धपुतळा ठेवत. पुतळ्याखेरीज सारे काही खुबीने लपविलेले असे. १६ व्या शतकातील एका पुस्तकात दाखविण्यात आलेल्या अशा काही रचना आ. १५२ मध्ये दिसत आहेत. ध्वनिवाहक नळातून येणारे आवाज कमानीयुक्त छतामार्फत पुतळ्याच्या ओठांकडे परावर्तित केले जातात. या मल्यामोठ्या नळांमधून अगदी बाहेरच्या पटांगणातील आवाज संगमरवरी पुतळ्यांच्या ओठांपर्यंत नेल्या गेल्याचे दिसत आहे. पुतळाच बोलत आहे किंवा गात आहे असाच हुबेहूब भास होतो.

चित्रपटगृहातील ध्वनी

चित्रपटगृहांना आणि नृत्यगृहांना नियमित भेटी देणाऱ्या रसिकांना चांगले ठाऊक झालेले असते की, काहींचे ध्वनिनियोजन फार परिणामकारक तर काहींचे असमाधानकारक असते. काहीमध्ये गायन किंवा भाषण अगदी शेवटपर्यंत सुस्पष्ट पोहोचते तर काहींमध्ये अगदी जवळच्या अंतरापर्यंत ऐकू येऊन नंतर मंद किंवा ऐकू येईनासे होते.

फार पूर्वी नाही पण नजिकच्या काळापर्यंतही चित्रपट किंवा नृत्य-गृहातील श्रवणीय अशी ध्वनिरचना साध्य होणे हा नशिबाचाच भाग समजला जात असे. आज मात्र नको असलेली ध्वनीची पुनरावृत्ती किंवा निनादन टाळण्याचे प्रभावी उपाय स्थापत्यविशारदांना ठाऊक झालेले आहेत. या मुद्यावर मी फार वेळ घेणार नाही, कारण त्यात फक्त वास्तुशिल्पींनाच स्वारस्य वाटेल. तथापि, मला हे सांगू द्या की नको असलेले ध्वनिविषयक दोष टाळण्याचा मुख्य उपाय म्हणजे अवांतर ध्वनी शोषून घेतील अशा पृष्ठभागांचा वापर करणे हा होय.

ज्याप्रमाणे कोणतेही छिद्र प्रकाशशोषक असते त्याचप्रमाणे उघडी खिडकी ध्वनीचे शंभर टक्के शोषण करणारी असते. यासाठीच ध्वनि-

शोषणासाठी मानक म्हणून एक चौरस मीटर क्षेत्रफळ असणारी उघडी खिडकी निवडली गेली आहे. या खिडकीसापेक्ष ध्वनिशोषणाचे प्रमाण किती ते ठरविले जाते. खुद्द प्रेक्षकवर्ग हा सुद्धा उत्तम ध्वनिशोषक म्हणून ओळखळा जातो आणि अर्ध्या चौरस मीटर क्षेत्रफळाच्या उघड्या खिडकीएवढे प्रत्येक प्रेक्षकाचे ध्वनिशोषण समजले जाते. या संबंधात एक भौतिकशास्त्रज्ञ म्हणतो, "वक्ता काय म्हणतो ते श्रोते शद्वशः शोषून घेतात." हे अगदी खरे की, श्रोत्यांची गैरहजेरी ही वक्त्याची शद्वशः डोकेदुखीच ठरते.

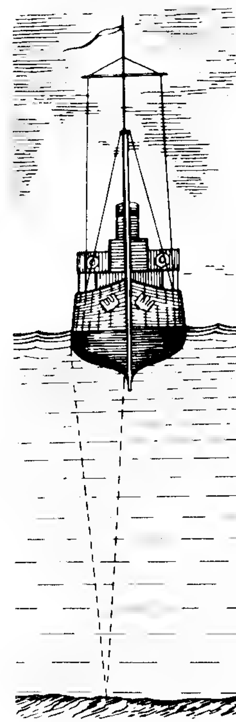
ध्वनी जादा प्रमाणात शोषिला जाणे हे सुद्धा हानीकारकच ठरते. त्यामुळे भाषण किंवा गायन ऐकण्यात अडथळा निर्माण होतो आणि दुसरे म्हणजे निनादन एवढे कमी होते की, आवाज फाटकातुटका वाटतो. या दृष्टीने फार जास्त नाही, फार कमी नाही असे "समतोल" निनादन ठरविणारी एखादी फूटपट्टी हवी. सर्वच ठिकाणी एकच माप चालणार नाही तर प्रत्येक वेळी स्वतंत्र प्रयोग करून योग्य निनादन होईल अशी रचना उभारणे आवश्यक आहे.

नाट्यगृहातील भौतिकशास्त्राचे दृष्टीने आणखी एक महत्त्वाची जागा म्हणजे पात्रांना पुढील भाषण सुचविण्यासाठी ठेवण्यात आलेली खास कक्षा ही होय. तिचा आकार सर्वच नाट्यगृहात एकसारखाच असतो—कारण प्रत्यक्षात ते एक भौतिकशास्त्रीय उपकरणच असते. त्याचे छत हा एक अंतर्गोल ध्वनिदर्पण असतो व त्यामुळे दोन हेतू साधतात. पहिला म्हणजे कलाकारास भाषण सुचविणारी व्यक्ती (पार्श्वसूचक) जे काही बोलते ते प्रेक्षकांपर्यंत जाण्यात अडथळा निर्माण होतो आणि या व्यक्तीचे बोलणे रंगभूमीवरील पात्रांकडे परावर्तित केले जाते.

समुद्रतळाकडून येणारे प्रतिध्वनी

समुद्रतळाची खोली मोजण्यासाठी जोपयत प्रतिध्वनींचा वापर होत नव्हता तोपर्यंत केवळ निरुपयोगी असेच प्रतिध्वनींचे स्वरूप होते. १९१२ मध्ये **टिटॅनिक** हे प्रचंड जहाज बहुतेक साऱ्या प्रवाशांसह हिमखंडावर आदळून समुद्रतळी गेले तेव्हा या दिशेने प्रयत्न सुरू झाले. धुक्यात आणि रात्री मार्गातील अडथळे जाणून घेण्यासाठी नाविकांना प्रतिध्वनींचा वापर करता येईल काय याचा विचार करण्यास सुरुवात केली. तसा हेतू जरी साध्य झाला नाही तरी प्रतिध्वनींचा वापर करून समुद्राची खोली मोजण्याची एक प्रभावी पद्धत प्रचारात येण्यास मदत झाली.

ही पद्धत कशी असते ते आ. १५३ वरून लक्षात येईल. बोटीच्या



आ. १५३ खोलीचे ध्वनीच्या सहाय्याने मोजमाप.

सांगाड्याच्या बाह्यआवरणानजीक स्फोटक द्रव्यांचा स्फोट करून तीव्र असा ध्वनिसंकेत निर्माण केला जातो. तो पाणी भेदून तळाशी पोहोचतो व तेथून परावर्तित होऊन प्रतिध्वनीच्या रूपात मूळ जागी येतो. एका अचूक उपकरणाच्या सहाय्याने या परावर्तित संकेताची नोंद होते. स्फोटाचा आवाज निर्माण होणे आणि प्रतिध्वनी ऐकू येणे यातील मध्यंतर एका अचूक कालमापकापर्यंत मोजले जाते. पाण्यातील ध्वनीचा वेग ठाऊक असल्यामुळे परावर्तन करणाऱ्या अडथळ्याची ऊर्फ समुद्रतळाची खोली निश्चित करता येते.

प्रतिध्वनीच्या सहाय्याने खोलीचे मापन करण्याच्या या पद्धतीने फारच क्रांती केली. पूर्वी या कामासाठी जहाज थांबविणे भाग पडत असे आणि एकंदर पद्धत तशी कंटाळवाणीच होती. मिनिटास १५० मी. या गतीने गळ टाकला जात असे आणि तो पुनरपी गुंडाळण्यास तेवढाच वेळ लागे. तीन कि. मी. खोली मोजण्यास ४५ मिनिटे लागत. हेच मोजमाप प्रतिध्वनी

तंत्राच्या सहाय्याने करण्यास काही सेकंदच पुरेसे असतात. शिवाय जहाज थांबविण्याची गरज नसून मोजमाप एवढे काटेकोर असते की, जास्तीत जास्त ४ मी. चा फरक पडू शकतो. वेळेचे मोजमाप मात्र अतिशय सूक्ष्म हवे व ही सूक्ष्मता सेकंदाच्या तीन-हजारांश भागापर्यंत होणे जरूर आहे.

सागरविज्ञानाच्या दृष्टीने मोठमोठ्या खोलींचें अगदी अचूक मोजमाप होणे फार जरुरीचे असले तरी किनाऱ्यानजिकच्या समुद्रतळाची विश्वसनीय आणि अचूक खोली मोजता येणे हे सुरक्षित नौकानयनाचे दृष्टीने तितकेच महत्त्वाचे आहे.

आजच्या आधुनिक प्रतिध्वनी तंत्रात नेहमीचा साधासुधा आवाज वापरला जात नाही. तर आत्यंतिक तीव्रतेचा असा श्राव्यातीत ध्वनी वापरला जातो. तो आपणास कधीच ऐकू येणार नाही, कारण त्यांची कंप्रता सेकंदास कित्येक लाख कंपने एवढी असते. एका जलद गतीच्या प्रत्यावर्ती विद्युत-क्षेत्रात क्वार्टझ स्फटिकाची पट्टी ठेवली जाते व तिच्या कंपनातून ध्वनी-निर्मिती होते.

मधमाशीचे गुणगुणणे

मधमाशी का बरे गुणगुणते ? तसे पाहिले तर बहुतेक साऱ्या कीटकां-मध्ये त्यासाठी खास असे इंद्रिय किंवा अवयव मुळी नसतोच. ही गुणगुण कीटक उडतानाच फक्त ऐकू येते व ती त्यांच्या पंखांच्या हालचालीतून निर्माण होते. सेकंदास शेपाचशे वेळा पंख हालविले जातात अथवा कंपन पावतात. एखाद्या कंपनशील पट्टीप्रमाणे पंखाचे कार्य चालते आणि कोण-तीही पट्टी जर भरपूर वेगाने कंपन पावली—सेकंदास १६ पेक्षा जास्त गतीने —तर निश्चित अशा स्वरपट्टीतून आवाज निर्माण होतो.

हे माहीत झाल्यामुळेच, कीटक उडताना आपले पंख दर सेकंदास किती वेळा हालवितो याचे ज्ञान शास्त्रज्ञांना झाले. कीटकांच्या गुणगुणण्याची स्वरपट्टी माहीत करून घेतली की तो किती वेळा पंख खालीवर हाल-वितो ते जाणता येईल, कारण प्रत्येक सुराच्या कंपनाची कंप्रता ठरलेली असते.

मंद गतीच्या कॅमेऱ्याच्या सहाय्याने शास्त्रज्ञांनी निश्चित केले आहे की, प्रत्येक कीटक कोणत्याही वेळी आपले पंख ठराविक गतीनेच हालवितो, उड्डाण-नियंत्रणासाठी पंखांच्या हालचालीचे "परमप्रसरण" बदलतो आणि पंखाच्या तिरकेपणाचा अथवा कलण्याचा कोन बदलतो. फक्त थंडीच्या दिवसातच पंखांची हालचाल वाढते. म्हणूनच गुणगुणण्याचा आवाज एकाच पातळीतला किंवा ठराविक पट्टीतला राहतो. घरातली माशी "एफ्" स्वर-

पट्टीतील आवाज काढते, तिचे पंख दर सेकंदाला ३५२ वेळा कंपन पावतात. मोठी मधमाशी (बंबल-बी) आपले पंख २२० वेळा हालविते. नेहमीची मधमाशी (हनी-बी) मधाचे ओझे नसताना ४४० वेळा पंख हालविते (स्वरपट्टी ए) आणि ओझे नेताना फक्त ३३० वेळा हालविते (स्वरपटटी बी). भुंगेऱ्याचे गुणगुणणे खालच्या पट्टीतले असते, ते आपले पंख कमी वेगाने हालवितात. याउलट, डास आपले पंख दर सेकंदास ५०० ते ६०० च्या दरम्यान हालवितात. तुलनेसाठी मुद्दाम सांगावेसे वाटते की, विमानाचा पंखा सेकंदास सरासरीने फक्त पंचवीसएक वेळाच फिरतो.

श्रवणविषयक भास

एखादे वेळेस, कोणत्यातरी कारणासाठी उद्‌गमस्थान खूप दूर आहे अशी आपण समजूत करून घेतो, पण आवाज तर **बराच मोठा** वाटतो. **अशा भासमय प्रकाराने** आपण पुष्कळदा फसतो खरे, पण त्यामागील कारणांचा आपण सहसा विचार करीत नाही. विल्यम जेम्स या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने **"मनोविज्ञान"** या आपल्या ग्रंथात पुढील वैचित्र्यपूर्ण घटना सांगितली आहे. :

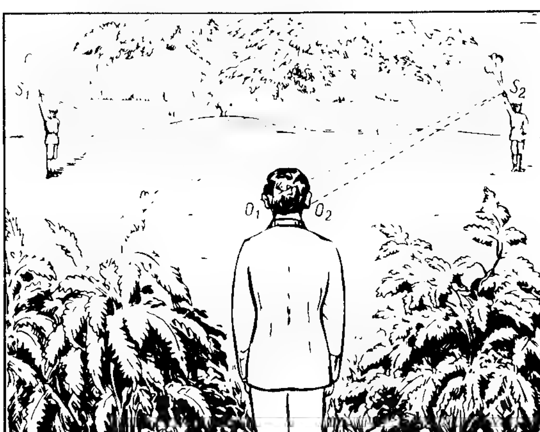
"एकदा रात्री उशिरापर्यंत मी खुर्चीत वाचत बसलो असता घराच्या वरच्या भागातून एकाएकी मोठा भीतीदायक आवाज ऐकू आला व त्या आवाजाने सारे घर व्यापून गेल्याप्रमाणे वाटले. तो लगेच थांबला पण पुन्हा काही क्षणात सुरूही झाला. मी दिवाणखान्यात गेलो व लक्षपूर्वक ऐकू लागलो. पण तो येईनासा झाला. खोलीत परत येऊन खुर्चीत बसलो न बसलो तोच तो परत कानावर पडला आणि जोरदार वाऱ्यामुळे वाढत्या पुराचा जसा रौद्रगंभीर आवाज ऐकू येतो तसा वाटला. चारी दिशांनी जणू तो येत होता. मी फारच घाबरलो. आणि पुन्हा दिवाणखान्यात गेलो. पण पुन्हा ऐकू येईनासा झाला. परत येऊन दुसऱ्यांदा जेव्हा खुर्चीत बसलो तेव्हा कुठे ध्यानात आले की, जमिनीवर शांतपणे घोरणाऱ्या छोटयाशा कुत्र्याचा तो आवाज आहे. तथापि, मुख्य मुद्दा म्हणजे आवाज कशाचा आहे हे समजताच तो मला वेगळा वाटू लागला आणि मघाशी ऐकल्याप्रमाणे ऐकू येईनासा झाला." असा काही अनुभव आपणास आला आहे का? तसा अनुभव येणे अशक्य नाही. कारण काहीही असो, तसा अनुभव मला मात्र चार-दोन वेळा आला आहे खरा.

नाकतोडा कुठे आहे ?

पुष्कळदा आपण चुकतो ते आवाज किती दूरवरून येत आहेत याचा

अंदाज बांधण्यात नव्हे तर तो कोणत्या दिशेने येत आहे हे ओळखण्यात. बंदूक उडविल्याचा आवाज ऐकून ती आपल्या उजवीकडून की डावीकडून हे खूपशा अचूकतेने जाणता येते (आ. १५४). पण समोरून की पाठीमागून हे मात्र ओळखण्यास आपण पुष्कळदा चुकतो. पुष्कळदा पुढून उडविलेल्या बंदुकीचा आवाज आपणास मागून आल्याप्रमाणे वाटतो. आवाज जसा मोठा असेल त्यानुसार तो जवळून येत आहे की दुरून, एवढेच काय ते अशा प्रसंगी सांगता येते.

पुढील प्रयोग मोठा सूचक म्हणता येईल. आपल्या मित्राचे डोळे बांधा आणि त्यास खोलीच्या मध्यभागी ,डोके न हालविता अगदी शांत बसावयास सांगा. नंतर त्याच्या दोन डोळ्यामधून जाणाऱ्या उभ्या अशा संकल्पित पातळीत आपण उभे रहा व दोन नाणी एकमेकांवर आपटून आवाज काढा. हा आवाज कोठून काढला जात आहे हे आपल्या मित्रास ओळखावयास सांगा.



आ. १५४ कोणत्या बाजूस गोळी उडविली ? डावीकडे का उजवीकडे ?

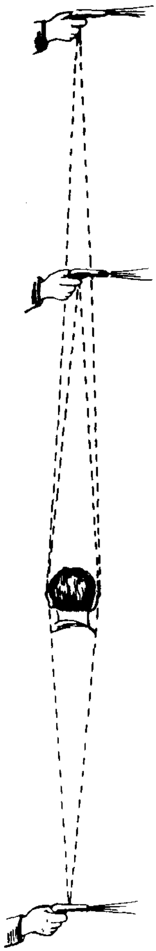
आपणाला आश्चर्य वाटेल की, आपण उभे असलेली जागा सोडून इतरत्र कोठेही तो बोट दाखवेल! पण वर उल्लेखिलेली कल्पित पातळी सोडून इतरत्र ठिकाणी ज्या क्षणी आपण जाल त्यावेळचा त्याचा अंदाज खूपसा बरोबर ठरेल. याचे कारण हे की, त्याचा जो कान आपल्या अधिक नजिक असेल त्यामार्फत नाण्यांचा आवाज थोडा अधिक व थोडा मोठा ऐकू येईल.

एखादा चिरचिरणारा नाकतोडा (किंवा टोळ) कोठे आहे हे समजणे का अवघड जाते याचेही स्पष्टीकरण वरील प्रयोगामुळे ध्यानात येईल. त्याचे हे कर्कश "गाणे" उजवीकडून चारदोन पावलांवरून येत आहे असे समजून त्या दिशेने मान वळवाल पण काहीच दिसणार नाही. तोपावेतो त्याचा आवाज डावीकडून ऐकू येईल. पुन्हा तिकडे मान वळवाल आणि तिसरीकडूनच त्याचे गाणे ऐकावयास मिळेल. जेवढ्या चपळतेने मान फिरवाल तेवढा आपला गायक शीघ्रवेगी असल्याचे भासेल. खरे पाहता, नाकतोडा जागेवरून मुळीसुद्धा हालत नाही, तो इकडून तिकडे जात आहे अशी आपणच समजूत करून घेता. आपण श्रवणविषयक आभासाचे बळी ठरतो हेच खरे !

आपली चूक ही की, आपण डोके अशा प्रकारे फिरवितो की, नाकतोडा त्याच्या सम-अंतरी पातळीत येतो. आपणाला आता ठाऊक झालेच आहे की, अशा स्थितीमुळे दिशा निश्चित करण्यात चूक होते. जर नाकतोड्यास शोधून काढावयाचे असेल (किंवा कोणत्याही आवाजाचे उद्‌गम स्थान शोधून काढावयाचे असेल) तर आवाज ज्या दिशेने येत असेल तिकडे मान वळवू नका. जेव्हा एखादी व्यक्ती बोलून बोलून कंटाळा आणते तेव्हा आपण मान "दुसरीकडेच" वळवितो ना ?

कानांमार्फत होणारी फसवणूक

आपण जेव्हा एखादे बिस्किट किंवा पापडासारखा पदार्थ खातो तेव्हा ऐकू येणारा आवाज भारी त्रासदायक असतो. पण शेजारची व्यक्ती जर त्याच कामात गुंतलेली असेल तर तो मुळीसुद्धा आवाज करीत नाही, म्हणजेच त्याचा आवाज काही आपणास ऐकू येत नाही. असे का व्हावे ? आपण जो आवाज करतो तो फक्त आपणासच ऐकू येतो पण शेजाऱ्यास तो त्रास देत नाही. यामागील कारण असे आहे की, इतर साऱ्या घन पण लवचिक वस्तूंप्रमाणे आपल्या डोक्याची हाडे उत्कृष्ट ध्वनिवाहक आहेत. जेवढ्या दाट, घन माध्यमातून आवाज जाईल तेवढा तो मोठ्याने ऐकू जाईल. पापड खातेवेळी शेजाऱ्याचा आवाज ऊर्फ कुरकुर हवेसारख्या (विरल) माध्यमातून जाणारी असल्यामुळे जवळजवळ ऐकू येत नाही. पण स्वतःचाच



आ. १५५ कोणत्या बाजूस गोळी उडविली ?
समोरून की पाठीमागून ?

आवाज जेव्हा डोक्याच्या घनरूप हाडांमार्फत श्रवण-तंत्रिकात पोहोचतो तेव्हा तो तीव्र भासल्यास नवल ते कोणते ?

पुढील प्रयोग करून पहा. एखादे घड्याळ दातात धरा, आणि कान बोटे घालून बंद करा. आपल्या डोक्याची हाडे घड्याळाची टिक्टिक् एवढी तीव्र करतील की भल्यामोठ्या घणाचेच आघात होत आहेत असेच आपल्याला वाटेल.

बहिऱ्या बीथोव्हेसंबंधी एक गोष्ट सांगितली जाते. फिरावयास जातेवेळी वापरावयाच्या काठीचे एक टोक तो पियानोवर टेकवत असे व दुसरे टोक दातात धरून पियानो -वादन ऐके. जर काही दोष नसेल तर बहिरे संगीतानुसार नाचूही शकतील, ही संभवता वरील कारणामुळेच. जमीनीकडून (नृत्यगृहात ती बहुधा लाकडाची असते. का ?) डोक्याच्या हाडांमार्फत त्यांच्या श्रवण-तंत्रिकात संगीताचा म्हणजेच ध्वनीचा प्रवेश होतो.

गारूडवाणीचे व तत्सम "आश्चर्यजनक" खेळ हे सारे वर विशद केलेल्या अशा श्रवणविषयक खास गुणधर्मांवर अवलंबून असतात.

गारूडवाणीमुळे जो आभास निर्माण होतो त्यामागे, आवाज कोठून येत आहे आणि तो किती दूरवर आहे हे जाणून घेण्याची आपली असमर्थताच कारणीभूत असते. त्याबाबत आपण केवळ अंदाजच करू शकतो. अशा चमत्कारिक परिस्थितीत सापडलो रे सापडलो की आवाज कोठून येत आहे याचा अंदाज बांधण्याच्या कामात गुरफटले गेलोच म्हणून समजा. गारूडवाणीचे प्रयोग पाहताना खरा प्रकार काय असतो हे ठाऊक असूनसुद्धा त्याच्या जाळ्यात मीसुद्धा सहजगत्या फसलो हे मात्र मला कबूल करावे लागेल.

□ □ □

नव्याण्णव प्रश्न

१. गोगलगाय आपल्यापेक्षा किती मंद वेगाने चालते?
२. आधुनिक विमानांचा वेग किती ?
३. सूर्यापलीकडे जाता येईल का?
४. मंदगती छायाचित्रे कशी तयार होतात?
५. आपण सूर्याभोवती अधिक वेगाने केव्हा फिरतो?
६. धावत्या चाकाच्या वरील भागातील आरे अंधूक दिसतात तर खालील भागातील आरे स्पष्ट दिसतात, असे का?
७. धावत्या गाडीच्या विरुद्ध दिशेने जाणारे कोणते बिंदू असतात?
८. प्रकाशाचे विपथन म्हणजे काय?
९. खुर्चीतून उठताना आपण पुढे वाकतो व आपले पाय खुर्चीच्या मागे सरकवितो, का?
१०. खलाशी हेलकावे का खातो?
११. चालणे व धावणे या क्रियांमध्ये फरक काय ?
१२. धावत्या मोटारीतून उडी कशी घ्याल?
१३. "मोठ्या गोष्टी" लिहिणाऱ्या बॅरन मुंचासेन या लेखकाने बंदुकीची गोळी पकडल्याचा दावा केला. ते खरंच शक्य होते का?
१४. मोटार चालवत असताना तुमच्याकडे भेटवस्तू भिरकावल्या तर चालेल का?
१५. तुम्ही स्थिर असतानाचे वजन व पडता तेव्हाचे वजन, यामध्ये फरक पडेल का?
१६. वर फेकलेली प्रत्येक वस्तू खाली येते का?
१७. चंद्राकडे निघालेल्या अग्निबाणातील जीवनाचे ज्यूल वेर्नने केलेले वर्णन खरे आहे?
१८. दोषपूर्ण तराजूवर योग्य वजने वापरून एखाद्या वस्तूचे अचूक वजन करता येईल का? तसेच चुकीची वजने वापरून अचूक तराजू वस्तूचे योग्य वजन दाखवेल का ?
१९. मानवी बाहूंमधील तरफ फायदेशीर ठरते का?
२०. बर्फावरून घसरण्याचा खेळ खेळताना आपण बर्फात रुतून का बसत नाही?
२१. टांगत्या बिछान्यात बसून आळसात वेळ घालविणे का आवडते?
२२. पहिल्या महायुद्धात पॅरिसचे रक्षण कसे करण्यात आले?

२३. पतंग कसा उडतो ?
२४. खाली पडत असताना दगड सतत प्रवेगित होतो ?
२५. पॅरॅशुटमधून घेतलेल्या लांबविलेल्या उडीचा जास्तीत जास्त वेग किती ?
२६. बुमरँग परत कसे येते ?
२७. अंडे उकडलेले आहे की कच्चे हे न फोडता सांगता येईल ?
२८. वस्तूचे वजन अधिक कोठे भरते—विषुवृत्तानजिक अथवा ध्रुवावर ?
२९. फिरत्या चाकाच्या आसावर जेव्हा अंकुर फुटतो तेव्हा तो कोणत्या दिशेने वाढतो ?
३०. निरंतर गती म्हणजे काय ?
३१. "निरंतर गती"चे यंत्र खरंच तयार करता येते ?
३२. द्रवामध्ये बुडविलेल्या वस्तूवर अत्याधिक दाब कोठून येतो ? वरून, बाजूंनी अथवा तळाकडून ?
३३. तराजूच्या पारड्यामध्ये ठेवून वजन केलेल्या द्रवाने भरलेल्या पात्रात जर दोरीच्या सहाय्याने वजन बुडविले तर काय परिणाम होतो ?
३४. वजनविरहित अवस्थेतील द्रवाचा आकार कोणता? प्रयोगाने सिद्ध करू शकाल?
३५. पावसाचे थेंब गोलाकार का ?
३६. काच अथवा धातूच्या भांड्यातून केरोसिन झिरपते हे खरे आहे ? ते झिरपते असे का समजले जाते ?
३७. पोलादी टाचणी तरंगेल काय ?
३८. तरण म्हणजे काय ?
३९. साबणामुळे घाण कशी निघून जाते ?
४०. साबणाचा फुगा वर कसा जातो ? तो जलद गतीने वर केव्हा जातो— —थंड खोलीत अथवा उबदार खोलीत ?
४१. मानवी केस व साबणाचा फुगा यांपैकी अधिक बारीक काय ? तसेच एका वस्तूपेक्षा दुसरी वस्तू किती पटीने बारीक आहे ?
४२. कागदाचा जळणारा तुकडा ग्लासमध्ये ठेवून तो ग्लास पाण्याच्या पात्रात उलटा केला तर पाणी ग्लासमध्ये वर का चढते ?
४३. शोषनळीतून द्रवपदार्थ वर कसा येतो ?
४४. तराजूच्या काट्यावर एक काठी तोलली आहे. निर्वात पात्रात तराजू ठेवल्यास समतोल बिघडेल का ?
४५. हा तराजू द्रवरुप हवेमध्ये ठेवल्यास काय फरक पडेल ?
४६. तुम्ही तुमचे वजन पूर्णपणे गमावले परंतु कपड्यांचे वजन तसेच राहिले, तर हवेमध्ये तुम्ही तरंगाल का ?

४७. "निरंतर गती" यंत्र व "आपोआप चालणाऱ्या" यंत्रामध्ये फरक काय? असे यंत्र तयार करण्यात आले आहे काय?

४८. ट्रामच्या रुळांवर अती थंड व अती उष्ण दिवशी काय परिणाम होतो? आगगाडीच्या रुळांबाबत हवामानातील बदल धोकादायक का नसतो?

४९. तारायंत्र व दूरध्वनीच्या तारा सर्वाधिक केव्हा दाबल्या जातात?

५०. गरम किंवा थंड पाण्यामुळे कोणत्या प्रकारचे भांडे जास्त वेळा तडकते?

५१. सरबताच्या ग्लासांचा तळ जाड का असतो? हे ग्लास चहाकरता अयोग्य ठरतात, असे का?

५२. थंडी अथवा उष्णतेमुळे तडकणार नाही असे कोणती पारदर्शक वस्तू टेबलावरील पात्रांकरता उत्कृष्ट ठरते?

५३. गरम पाण्याने स्नान केल्यावर पायातून बूट काढणे त्रासदायक का ठरते?

५४. आपोआप चावी दिले जाणारे घड्याळ तयार करता येईल?

५५. मोठ्या यंत्रांकरता आपोआप चावीचे तत्त्व वापरता येईल?

५६. धूर वलयांकित मार्गाने वर का जातो?

५७. सरबताची बाटली थंड कशी कराल?

५८. उबदार कपड्यांमध्ये बर्फ जलद वितळेल?

५९. बर्फ पडल्यावर पृथ्वी उबदार होते?

६०. भूगर्भातील नळांमधील पाणी हिवाळ्यात का गोठत नाही?

६१. उत्तर गोलार्धात जुलै महिन्यात हिवाळा कोठे असतो?

६२. डाग दिलेल्या भांड्यांमध्ये पाणी सुरक्षितपणे कसे उकळते?

६३. अत्यंत कडक थंडीत बर्फावरून जाण्यास घसरगाडीला का त्रास होतो?

६४. हिमगोळे उत्तम रीतीने कधी तयार करता येतात?

६५. हिमकांड्या कशा तयार होतात?

६६. ध्रुव प्रदेशापेक्षा विषुववृत्तावर हवामान ऊबदार का असते?

६७. प्रकाश त्वरित प्रसारित झाल्यास सूर्योदय केव्हा दिसेल?

६८. कोणत्याही माध्यमातून प्रकाश किरण त्वरित प्रसारित झाले तर दूरदर्शक व सूक्ष्मदर्शकावर काय परिणाम होईल?

६९. अडथळ्यांना पार करून प्रकाश पुढे जाऊ शकेल?

७०. परीदर्शक कसे तयार करतात?

७१. आरशामध्ये तुमची प्रतिमा उत्कृष्ट दिसण्यासाठी दिवा कोठे ठेवाल?

७२. तुम्ही व आरशामधील तुमची प्रतिमा यामध्ये साम्य आहे?

७३. शोभादर्शकाचा काही उपयोग आहे का?

७४. अग्नी पेटविण्याकरता बर्फाचा उपयोग होऊ शकेल?

७५. समशीतोष्ण भागात मृगजळ दिसेल का ?
७६. "हिरवे किरण" म्हणजे काय ?
७७. छायाचित्र कसे पहावे ?
७८. बृहत्दर्शक काच व अंतर्वक्र आरशातून छायाचित्राकडे पाहिल्यास छायाचित्र उठावदार का भासते ?
७९. चित्रपट-गृहात मध्यभागी बसणे अधिक योग्य का ?
८०. चित्राकडे एका डोळ्याने पाहणे चांगले का ?
८१. त्रिमितीदर्शकाचे काम कसे चालते ?
८२. दंतकथांमध्ये वर्णन केल्यानुसार प्रचंड आकारात वस्तू पाहता येतील ?
८३. दूरत्रिमितीदर्शक म्हणजे काय ?
८४. वस्तू का चमकतात ?
८५. धावत्या गाडीतून कोणताही देखावा अधिक उठावदार का भासतो ?
८६. त्रिमितीदर्शकाच्या सहाय्याने आकाशीय गोलाचे छायाचित्र कसे घेतात ?
८७. "छाया-चमत्कृती"चा परिणाम कशावर आधारित आहे ?
८८. लाल रंगाच्या ध्वजाला निळ्या प्रकाशात कोणता रंग प्राप्त होईल ?
८९. किरणीयन व दृष्टीवैषम्य म्हणजे काय ?
९०. कोणत्या प्रकारच्या चित्रामधील व्यक्तिचे डोळे सतत तुमच्यावर रोखलेले असतात ? आणि का ?
९१. तेजस्वी तारे कोणत्या व्यक्तीला जास्त मोठे वाटतात ? ऱ्हस्वदृष्टी असणाऱ्या व्यक्तीस अथवा नैसर्गिक दृष्टी असणाऱ्या व्यक्तीस ?
९२. टाळी वाजविल्यानंतर जर १.५ सेकंदानंतर प्रतिध्वनी ऐकू येत असेल तर ध्वनीला रोखणारा अडथळा किती दूर आहे ?
९३. ध्वनी-आरसे यासारखी कोणती वस्तू अस्तित्वात आहे ?
९४. ध्वनी कोणत्या माध्यमातून वेगाने जातो—हवेतून अथवा पाण्यातून ?
९५. प्रतिध्वनीचे तांत्रिक उपयोग कोणते ?
९६. मधमाशी का गुणगुणते ?
९७. किरकिरणाऱ्या नाकतोडयाचा मागोवा घेणे कठीण का असते ?
९८. हवा आणि त्यापेक्षा अधिक घन माध्यम या दोहोंपैकी कोणत्या माध्यमातून ध्वनी उत्कृष्टपणे वाहून नेला जातो ?
९९. दूरवरून येणारा आभासी आवाज कशावर आधारित आहे ?

००००

या पुस्तकाचा दुसरा भाग सुद्धा आहे. अर्थात, दोन्ही भाग वाचकांना स्वतंत्रपणे वाचता येतील.

आमची आगामी प्रकाशने

विख्यात सोविएत लेखक – वैज्ञानिक या. पेरेलमान यांनी लिहिलेले अत्यंत लोकप्रिय पुस्तक :

मनोरंजक भौतिकशास्त्र : भाग २

अत्यंत सोप्या भाषेत, विविध मनोरंजक घटनांच्या सहाय्याने भौतिकशास्त्राची ओळख करून देणारे हे पुस्तक मीर प्रकाशन आता मराठी भाषेत प्रसिद्ध करीत आहे.

आमची आगामी प्रकाशने

धातूंच्या नवलकथा

ले. – से. विनेत्सकी

धातूंच्या आश्चर्यजनक जगाचे संपूर्ण दर्शन घडविणारे एक अत्यंत मनोरंजक पुस्तक. सोविएत संघात १९७० सालातील सर्वोत्कृष्ठ मनोरंजक–वैज्ञानिक पुस्तक म्हणून निवड झालेल्या मूळ रशियन पुस्तकाचा मराठी अनुवाद.

वाचकाना विनंती

'मीर प्रकाशना'ला या पुस्तकाच्या अनुवादाबाबत आपले मत जाणून घ्यायला आनंद वाटेल. आपल्या इतर सूचनांचाही अवश्य विचार केला जाईल. कृपया पुढील पत्त्यावर पत्रव्यवहार करा :

MIR PUBLISHERS
PERVY RIZHSKY PEREULOK, 2,
USSR, 129820, MOSCOW, I-110,GSP,

मनोरंजक भौतिकशास्त्र या. पेरेलमान

1